

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNEE 1966

N°

THÈSE 337
POUR LE
DOCTORAT EN MÉDECINE
DIPLOME D'ÉTAT
PAR

Jean-François MOLLARD

né le 26.6.1935 à VERSAILLES (S. O.)

Présentée et soutenue publiquement le :

CONTRIBUTION A L'ETUDE
D'UNE EPREUVE D'HYPERCAPNIE ALVEOLAIRE UNILATERALE
AU COURS
DE L'EXAMEN BRONCHOSPIROGRAPHIQUE DES POUMONS SEPARES.

Président : Monsieur J. BAUMANN, Professeur.

EDITIONS A.G.E.M.P. — 8, RUE DANTE . PARIS.V^e

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNEE 1966

N°

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'ÉTAT

PAR

Jean-François MOLLARD

né le 26.6.1935 à VERSAILLES (S.O.)

Présentée et soutenue publiquement le :

CONTRIBUTION A L'ETUDE
D'UNE EPREUVE D'HYPERCAPNIE ALVEOLAIRE UNILATERALE
AU COURS
DE L'EXAMEN BRONCHOSPIROGRAPHIQUE DES POUMONS SEPARES.

Président : Monsieur J. BAUMANN, Professeur.

EDITIONS A.G.E.M.P. — 8, RUE DANTE . PARIS-Ve

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Alajouanine (T.), Aubin (A.), Bénard (H.), Binet (L.), Bulliard (H.), Cathala (J.), Chabrol (E.), Chailley-Bert (P.), Debré (R.), Fey (B.), Galliard (H.), Gaudart d'Allaines (F. de), Gennes (L. de), Halphen (E.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Laroche (G.), Lavier (G.), Lelong (M.), Lévy-Solal (E.), Lian (C.), Marchal (G.), Mathieu (P.), Monod (R.), Moreau (R.), Moulonquet (P.), Pasteur Vallery-Radot, Petit-Dutaillis (D.), Plédelièvre (R.), Quénu (J.), Renard (G.), Richet (C.), Senèque (J.), Strohl (A.), Tanon (L.), Verne (J.).

DOYEN Georges BROUET.

1^{er} ASSESSEUR } Daniel BARGETON

2^e ASSESSEUR } Jean GOSSET

I. — PROFESSEURS

1^o CHAIRES DE SCIENCES FONDAMENTALES

a) Professeurs titulaires :

	MM.
Anatomie	DELMAS (A.)
Anatomie et cytologie pathologiques	DELARUE (J.)
Anesthésiologie	BAUMANN (J.)
Bactériologie et virologie	TOURNIER (P.)
Biochimie médicale	JAYLE (M.-F.)
—	POLONOVSKI (J.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports	MALMEJAC (J.)
Biologie médicale	FAUVERT (R.)
Biophysique médicale	BUGNARD (L.)
—	DOGNON (A.)
—	DJOURNO (A.)
Cancérologie médicale et sociale	DENOIX (P.)
Chimie pathologique	SCHAPIRA (G.)
Embryologie	TUCHMANN (H.)
Génétique fondamentale	LEJEUNE (J.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie	COURY (Ch.)
Histologie	GIROUD (A.)
Hygiène et médecine préventive	BOYER (J.)
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)
Médecine légale	DEROBERT (L.)
Microbiologie (Bactériologie et virologie)	FASQUELLE (R.)
Parasitologie	BRUMPT (L.-C.)
Pathologie chirurgicale	LAURENCE (G.)
—	KUSS (R.)
—	VERNE (J.-M.)
Pathologie exotique	N...
Pathologie expérimentale et comparée	MERKLEN (F.-P.)
Pathologie médicale	LAROCHÉ (Cl.)
—	BRICAIRE (H.)
—	PÉQUIGNOT (H.)
Pathologie respiratoire	TURIAF (J.)
Pathologie et thérapeutique générales	N...
Pharmacologie	CHEYMOL (J.)
—	LEVY (Mlle J.)
Physiologie	BARGETON (D.)
—	PARROT (J.)
Physiologie et pathologie obstétricales	LEPAGE (F.)
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)

Technique chirurgicale et Chirurgie expérimentale	MM. CAUCHOIX (J.)
Thérapeutique	CONTE (M.)
Thérapeutique appliquée	LAMOTTE (M.)

b) Professeurs à titre personnel :

Anatomie anthropologique	OLIVIER (G.)
Anatomie pathologique	NEZELOF (Ch.)
Bactériologie	BARBIER (P.)
Biochimie médicale	DESGREZ (P.)
Biologie médicale	DREYFUS (J.-Cl.)
Histologie	BOURLIÈRE (F.)
Parasitologie	COUJARD (R.)
Pathologie expérimentale	LARIVIÈRE (M.)
Physiologie	LOEPER (J.)
	RICHT (G.)
	DEJOURS (P.)
	ROUCAYROL (J.-Cl.)
	SCHERRER (J.)
	KELLERSHOHN (L.)
Physique médicale	GOUGEROT (L.)
	TUBIANA (M.)
Radiologie médicale	FISCHGOLD (H.)

2° CHAIRES DE SCIENCES CLINIQUES

a) Professeurs titulaires :

Clinique carcinologique chirurgicale (Necker)	MM. REDON (H.)
Clinique cardiologique (Broussais)	SOULIÉ (P.)
— — (Boucicaut)	LENÈGRE (J.)
	LORTAT-JACOB (J.-L.)
	N...
Cliniques chirurgicales	LEGER (L.)
	PATEL (J.)
	GOSSET (J.)
	SICARD (A.)
	OLIVIER (Cl.)
Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique (Cochin)	MERLE d'AUBIGNÉ (R.)
— — — (Foch)	PADOVANI (P.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)	FÈVRE (M.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)	DUBOST (Ch.)
Clinique de chirurgie pleuro-puimonaire (Laennec)	MATHEY (J.)
Clinique dermatologique (Saint-Louis)	DUPERRAT (F.)
Clinique endocrinologique (Pitié)	DECOURT (J.)
Clinique de Génétique médicale (Enfants-Malades)	LAMY (M.)
Clinique gynécologique (Broca)	HUGUIER (J.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (Saint-Louis)	DEGOS (R.)
Clinique des maladies des enfants (Enfants-Malades)	TURPIN (R.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)	MOLLARET (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Sainte-Anne)	DELAY (J.)
Clinique des maladies métaboliques (Necker)	HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies du sang (Broussais)	BERNARD (J.)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)	GASTAIGNE (P.)
	DEPARIS (M.)
	MILLIEZ (P.)
	BROUET (G.)
Cliniques médicales	BARIÉTY (M.)
	SÈZE (S. de)
	DREYFUS (G.)
	KOURILSKY (R.)
	BOUDIN (G.)

	MM.	
Clinique d'hydrologie et de climatologie (Bichat)	DEBRAY (Ch.)	
Clinique médicale infantile et pédiatrie sociale (Enfants-Malades)	MARIE (J.)	
Clinique médicale propédeutique (Broussais)	JUSTIN-BESANÇON (L.)	
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hôtel-Dieu)	DEROT (M.)	
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)	DAVID (M.)	
Clinique neurologique (Salpêtrière)	GARCIN (R.)	
Cliniques obstétricales	Baudelocque	LACOMME (M.)
	Saint-Antoine	MERGER (R.)
Clinique obstétricale et gynécologique (Port-Royal)	VARANGOT (J.)	
Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)	OFFRET (G.)	
— — (Cochin)	BREGEAT (P.)	
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)	AUBRY (M.)	
Clinique de pédiatrie	MOZZICONACCI (P.)	
Clinique de pédiatrie et de puériculture (Saint-Vincent-de-Paul)	THIEFFRY (S.)	
Clinique de pneumo-phthisiologie (Laennec)	BERNARD (E.)	
Clinique de neuro-psychiatrie infantile (Salpêtrière)	MICHAUX (L.)	
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)	COSTE (F.)	
Clinique stomatologique (Salpêtrière)	DECHAUME (M.)	
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)	ROUX (M.)	
Clinique thérapeutique médicale (Saint-Antoine)	LEMAIRE (A.)	
Clinique toxicologique	GAULTIER (M.)	
Clinique traumatologique et orthopédique (R.-Poincaré)	JUDET (R.)	
Clinique urologique (Cochin)	ABOULKER (P.)	
— — (Necker)	COUVELAIRE (R.)	
Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)	LAPLANE (R.)	
Sémiologie médicale (A. Chantin)	DOMART (A.)	
— — (Lariboisière)	BOUVRAIN (Y.)	
— — (Pitié)	RAMBERT (P.)	
— — (Rothschild)	WOLFROMM (R.)	
Sémiologie et clinique chirurgicales (Broussais)	POILLEUX (F.)	

b) Professeurs à titre personnel :

Hématologie	ANDRÉ (R.)
	BOUSSER (J.)
Hydrologie et climatologie	GIBERTON (A.)
Maladies infectieuses	BASTIN (R.)
	AZERAD (E.)
	BOUR (H.)
	CABROL (Ch.)
	GROSSIORD (A.)
Médecine	LAMBLING (A.)
	LAUNAY (Cl.)
	PAYET (M.)
	PERRAULT (M.)
	SIGUIER (F.)
	WORMS (R.)
Neuro-chirurgie	LE BEAU (J.)
Neurologie	LHERMITTE (F.)
Neuro-psychiatrie	PICHOT (P.)
Oto-Rhino-Laryngologie	MADURO (R.)
	POLONOVSKI (Cl.)
Pédiatrie	ROYER (P.)
	KREIS (B.)
Pneumo-Phtisiologie	MEYER (A.)
Rhumatologie	DELBARRE (F.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE

	MM.		MM.
Anatomie pathologique . . .	BOUYGOU (Ch.)	Hématologie	BILSKI-PASQUIER (B.)
Anesthésiologie	VOURC'H (G.)	Maladies infectieuses . . .	DUPONT (V.)
Bactériologie	CHRISTOL (D.)	Physique médicale }	COURSAGET (J.)
Biochimie médicale }	CARTIER (P.)		GREMY (F.)
	GONNARD (P.)	Physiologie	GIRARD (Fr.)
Biologie médicale	HARTMANN (L.)	Stomatologie	CHAPUT (M ^{me} A.)
		Thérapeutique	CHASSAGNE (P.)

III. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Bactériologie	HAUDUROY (P.) Pr. s. ch
Pathologie chirurgicale	RUDLER (J.) Pr. s. ch.

IV. — PROFESSEUR ASSOCIÉ

Statistique médicale et épidémiologique . .	SCHWARTZ (D.)
---	---------------

Secrétaire général de la Faculté	M. LENA (J.)
Conseillers administratifs	Mlle CHAINTREUIL (G.) M. FAYE (R.)
Conservateur en Chef de la Bibliothèque . .	M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateur du Musée d'Histoire de la Médecine	
Conservateurs	Mlles DUMAITRE (P.), LAURENT (H.), LE NOIR (G.),
Bibliothécaires	Mmes CONTET (J.), FORGET (F.), Mlles DUROZOY (M.-F.), ROBERGE (D.), Dr SCHILLER (J.)

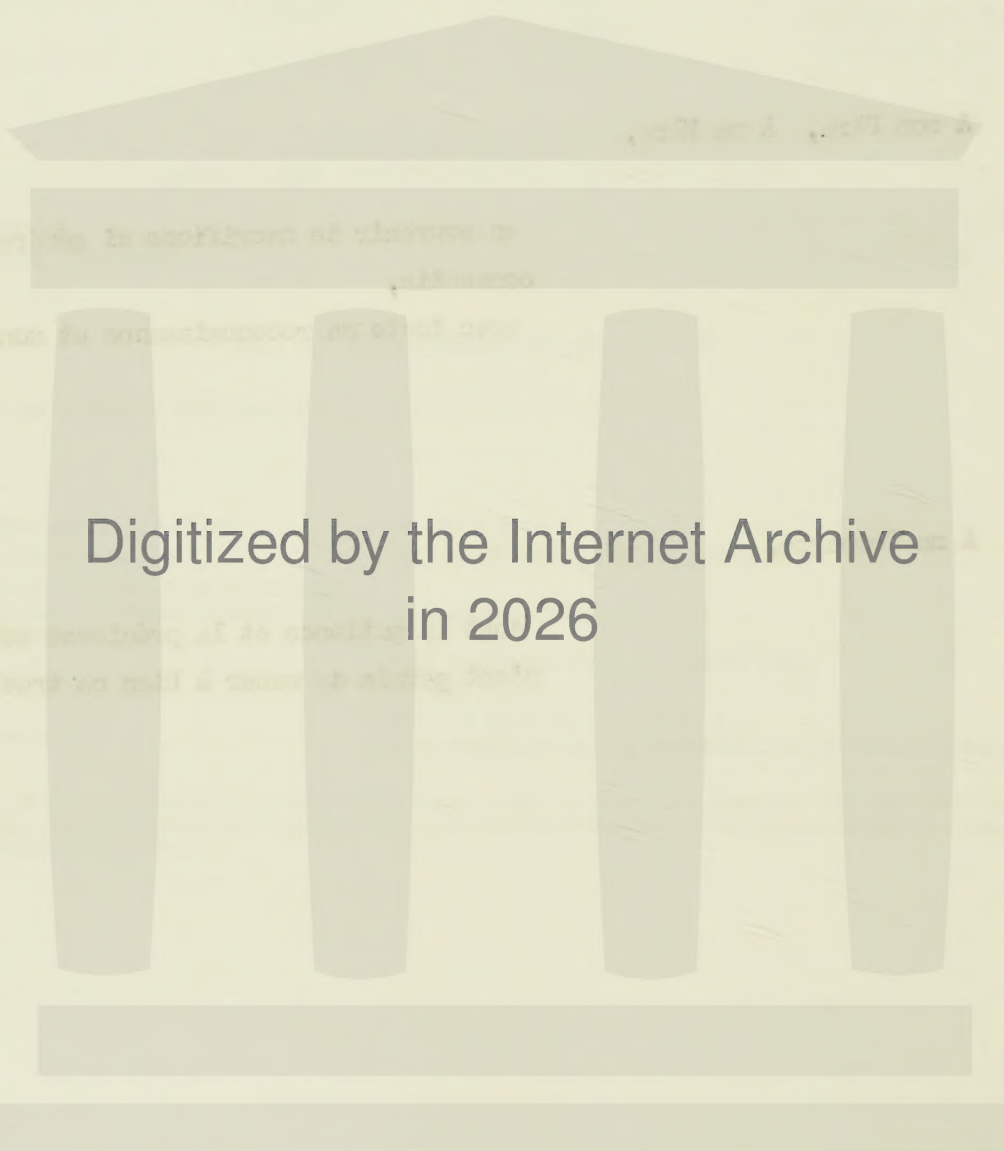
Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A mon Père, à ma Mère,

en souvenir de sacrifices si généreusement
consentis,
avec toute ma reconnaissance et mon affection.

A ma Compagne,

dont la patience et la précieuse collaboration
m'ont permis de mener à bien ce travail.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41533912_0015

A ma Famille

A tous mes Amis.

A notre Président de Thèse,

Monsieur le Professeur Jean BAUMANN

Membre de l'Académie de Chirurgie.

Professeur à la Faculté de Médecine de Paris

Chef de Service de Chirurgie Thoracique et de Réanimation
respiratoire de l'Hôpital Beaujon

Officier de la Légion d'Honneur,

Qui nous a fait le grand honneur
d'accepter la présidence de cette thèse après
nous avoir accueilli pendant près de cinq ans
dans son Service hospitalier et au Laboratoire
de l'Institut d'Anesthésiologie.

Qu'il veuille bien trouver ici l'expression
de notre profond respect et de notre gratitude.

A notre Jury de Thèse.

A Monsieur le Docteur DRUET,

Maître de Recherches à l'I.N.S.E.R.M.
Chef de Laboratoire d'exploration fonctionnelle
pulmonaire et cardio-vasculaire de l'Hôpital
Beaujon à Clichy.

A Monsieur le Professeur MAGNIN

Professeur de Pharmacologie à l'Ecole Nationale
de Médecine de Besançon.

que nous n'avons pu dissocier ici.

Le premier nous a ouvert les portes de
l'exploration fonctionnelle pulmonaire et nous
a communiqué sa passion pour la physiopathologie
respiratoire. Le second nous a initié aux très
subtiles notions de respiration et d'enzymologie
cellulaires.

Tous deux ensemble nous ont proposé
le sujet de ce travail que nous sommes heureux
de pouvoir leur dédier aujourd'hui.

A Monsieur le Professeur LORTAT-JACOB

Professeur de Clinique Chirurgicale à la Faculté
de Médecine de Paris

Chirurgien de l'Hôpital Beaujon

Qui nous a permis de mener à bien
ce travail en nous adressant ses malades.

Qu'il veuille bien trouver ici,
avec l'assurance de notre profonde gratitude,
celle de notre respectueuse déférence.

Nous remercions tout particulièrement :

Le Personnel du Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle
de l'Hôpital BEAUJON à CLICHY.

Le Personnel du Laboratoire de l'Institut d'Anesthésiologie
de la Faculté de Médecine de PARIS,

qui ont bien voulu nous offrir
leur précieuse collaboration.

Travail réalisé au Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle
Pulmonaire de l'Hôpital BEAUJON et au Laboratoire de
l'Institut d'Anesthésiologie à PARIS.

Contribution à l'étude
d'une épreuve d'hypercapnie alvéolaire unilatérale
au cours
de l'examen bronchospirographique des poumons séparés.

I N T R O D U C T I O N

La bronchospirrométrie a pris au cours de ces dernières années une importance de plus en plus grande en raison du développement de la chirurgie thoracique, essentiellement pulmonaire et oesophagienne. Il est évident qu'en présence d'une diminution de la ventilation globale, seule cette épreuve peut, en dehors de signes cliniques et radiologiques patents, donner des renseignements précis sur la fonction du poumon à opérer ou à mettre au repos pendant de longues heures. Enfin, certains tests complémentaires, épreuve d'ARNAUD, hypoxie unilatérale à l'azote, réinspiration unilatérale, essaient d'abolir la fonction de ce poumon et de réaliser une "pneumonectomie fonctionnelle" afin de déterminer si le parenchyme contro-latéral sera suffisant pour maintenir une fonction respiratoire correcte. Parallèlement a été également décrite une épreuve d'effort sous bronchospirrométrie, permettant d'évaluer la participation de chacun des poumons lors de l'accroissement des besoins de l'organisme.

L'épreuve de "charge" que nous avons choisie consiste à réaliser une hypercapnie unilatérale totale et progressive, tous les autres paramètres demeurant aussi constants que possible (en particulier la concentration en oxygène dans le mélange inhalé).

Elle nous paraît moins sujette à critique que l'épreuve d'ARNAUD, car elle élimine les dangers de réflectivité excessive, et le trouble artificiel se développe lentement (environ trente minutes). De plus, elle nous permet, sur un plan physio-

pathologique pur, d'apporter une contribution à l'étude des troubles ventilatoires locaux.

En effet, grâce à l'étude des gaz du sang, il devient possible de distinguer les insuffisances respiratoires d'origine pulmonaire en deux groupes :

- les hypoxémies hypercapniques et
- les hypoxémies normocapniques.

Les premières sont le signe biologique d'une insuffisance pulmonaire grave, c'est-à-dire un syndrome d'hypoventilation alvéolaire.

Les secondes peuvent être rattachées à deux causes principales :

- les troubles de la diffusion alvéolocapillaire
- les troubles locaux de la ventilation alvéolaire.

L'importance de ces derniers est particulièrement grande, car ce sont de loin les plus fréquents en physiopathologie respiratoire. De plus, leur mécanisme intime, leurs conséquences et la façon dont ils sont corrigés ne sont qu'imparfaitement connus.

Notre but est d'étudier les conséquences ventilatoires et sanguines d'une hypercapnie progressive siégeant au niveau d'un poumon entier. Pour des raisons que nous préciserons plus loin, notre choix s'est porté sur le poumon gauche.

Nous exposerons successivement :

- un rappel de notions d'exploration fonctionnelle pulmonaire
- les bases physiologiques et physiopathologiques fondamentales.
- le protocole expérimental et le matériel utilisé

- les résultats obtenus

- leur apport au problème envisagé.

CHAPITRE I

NOTIONS FONDAMENTALES D'EXPLORATION FONCTIONNELLE PULMONAIRE GLOBALE ET DE BRONCHOSPIROMETRIE

I - EXPLORATION DE LA VENTILATION GLOBALE :

Il semble que G.A. BORELLI, physicien et mathématicien italien, soit le premier à avoir mesuré le volume inspiratoire pulmonaire et attiré l'attention sur l'importance du volume résiduel dans son traité posthume "De motu animalium" (1881).

Il est suivi aux XVIII et XIXème siècles par LAVOISIER, SEGUIN, DALTON BOSTOCK, mais surtout par J. HUTCHINSON qui, en 1846, conçoit le spiromètre, réalise des séries de mesures sur plus de 2 000 sujets, et définit la capacité vitale et ses subdivisions.

En 1860, GREHANT procède aux premières déterminations de la capacité résiduelle fonctionnelle.

La notion d'espace mort est clairement définie dès 1882 par ZUNTZ et sa valeur mesurée successivement par LOEWY en 1894, HALDANE et PRIESTLEY en 1905.

VOIHARD (1908) remarque que l'expiration forcée d'un emphysémateux se fait plus lentement que celle d'un sujet normal. Ses premières observations sont reprises par son élève RAITHER (1912) qui observe l'allure des tracés d'expiration rapide suivant une inspiration forcée.

Le très grand mérite de TIFFENEAU et PINELLI (1947) est de définir la Capacité Pulmonaire Utilisable à l'Effort (C.P.U.E.), plus grand volume d'air expiré dans la première seconde suivant une inspiration forcée. Sa valeur normale représente 80 % de la capacité vitale. La valeur $\frac{\text{C.P.U.E.} \times 100}{\text{C.V.}}$ est généralement appelée "Coefficient" ou "rapport" de TIFFENEAU.

La ventilation maxima indirecte, définissant les possibilités ventilatoires d'un sujet, est le produit de la C.P.U.E. par 30 (TIFFENEAU et PINELLI), 32 (HIRDES et VAN VEN), 37 (CARA).

Notons pour terminer ce petit rappel historique, que la C.P.U.E. est appelée maintenant V.E.M.S. (Volume Expiratoire Maximum Seconde).

Pour les examens spirographiques globaux pratiqués dans ce travail, nous nous sommes essentiellement attachés à la mesure des paramètres suivants :

- Capacité Vitale Théorique (C.V.T.) : Formule de BALDWIN COURNAND
- Volume Expiratoire Maximum Seconde Théorique (V.E.M.S.T.) : C.V.T. multiplié par 80 % avant 50 ans, 75 % au-delà.
- Ventilation Maxima Indirecte Théorique (V.M.I.T.) : V.E.M.S.T. multiplié par 30.
- Capacité Vitale observée (C.V.)
- Volume Expiratoire Maximum Seconde observé (V.E.M.S.)
- Ventilation Maxima Indirecte observée (V.M.I.)
V.E.M.S. multiplié par 30.
- Consommation d'oxygène
- Equivalent Respiratoire pour l'oxygène.

L'évaluation des troubles ventilatoire se fait par étude comparative des V.M.I.T. et V.M.I., ces troubles étant d'origine obstructive (diminution du rapport $\frac{V.E.M.S. \times 100}{C.V.}$) ou/et restrictive (diminution de la C.V.).

II - LA BRONCHOSPIROMETRIE :

Les premières épreuves de séparation des airs sont pratiquées chez l'animal vers 1869-70 (Claude BERNARD - PFLUGER). En fait, il s'agit seulement d'introduction d'une sonde dans une bronche souche, la ventilation de l'autre poulmon ne pouvant être mesurée simultanément.

HEAD (1889) imagine un dispositif composé de deux sondes, pour l'étude simultanée de la ventilation des deux poulmons chez le lapin.

En 1932, JAKOBÆUS, FRENCKNER et BJORKMANN réalisent pour la première fois une bronchospirométrie chez l'homme. Ils utilisent pour cela un bronchoscope à double lumière d'égal diamètre, permettant l'enregistrement simultané de la ventilation de chaque côté. Cet appareil est cependant peu pratique car, rigide, il contraint le patient à demeurer dans une position non physiologique.

Il faut attendre 1939 pour que GERBAUER mette au point et utilise une sonde double souple. La sonde de ZAVOD (1940) lui ressemble beaucoup. Enfin, en 1949, CARLENS décrit un matériel presque parfait, actuellement commun dans la plupart des laboratoires d'exploration fonctionnelle. Nous y reviendrons un peu plus loin.

Il est bien évident que la présence d'une sonde dans la trachée interdit absolument un travail en conditions physiologiques. Cependant, l'expérience prouve que dans des conditions techniques correctes, la somme des capacités vitales de chaque poulmon est voisine de la C.V. globale déterminée au préalable. Il en va de même pour la ventilation-minute.

Enfin SADOUL a montré que la consommation d'oxygène pendant la bronchospirométrie est à peine de 10 % supérieure à la consommation globale.

Quels renseignements la beonchospirométrie est-elle capable de nous donner :

- la Capacité Vitale
- la Ventilation Minute
- la Consommation d'oxygène

De plus, un certain nombre d'épreuves de charge peuvent nous fournir des renseignements appréciables. Elles cherchent toutes à atteindre le même but : déterminer si le poumon sain est, ou non, capable à lui seul d'assurer une fonction respiratoire satisfaisante. L'idéal serait de pouvoir obturer la bronche souche et l'artère pulmonaire homolatérale. Cette conjonction, réalisée par COURNAND et son équipe et par des auteurs suédois sur quelques sujets sains et volontaires est malheureusement peu praticable pour toutes sortes de raisons.

Les fonctionnalistes et les physiopathologistes respiratoires se sont donc rabattus sur des tests plus simples.

a) L'épreuve d'ARNAUD :

ARNAUD, TULOU et MERIGOT, désirant réaliser des bronchospironétries et ne pouvant en 1943 se procurer de sondes doubles, utilisent un cathéter long, muni d'un ballonnet gonflable pour obturer la bronche souche choisie. Ce cathéter est introduit par voie basale et le patient respire dans un circuit spirographique simple par l'intermédiaire d'un embout buccal.

Par extension, on appelle maintenant "épreuve d'ARNAUD" le blocage d'un des conduits de la sonde de CARLENS à l'aide d'une pince. Elle est évidemment très simple, mais aussi très critiquable, le psychisme du malade et une réflexivité exagérée pouvant amener à une intolérance totale parfaitement indépendante des possibilités ventilatoires. Et surtout, puisque la circulation n'est pas arrêtée, il s'établit un shunt, et donc une hypoxie entraînant tachycardie, hyperventilation augmentation du débit sanguin controlatéral.

b) Epreuve de réinspiration unilatérale :

Elle consiste simplement à retirer l'absorbeur de chaux sodée sur le circuit spirométrique du poulmon intéressé. La concentration de CO_2 dans le circuit augmente graduellement et devient de plus en plus voisine de celle de l'air expiré. En même temps, sa concentration en O_2 diminue, les échanges respiratoires sont de plus en plus faibles, ce qui conduit à nouveau au shunt et à l'abaissement du P.S.O.

Il y a peu de différences avec l'épreuve d'ARNAUD.

c) Epreuve d'hypoxie unilatérale à l'azote :

Un poulmon respire en atmosphère d'azote pur, l'autre en air. Pratiquée à l'origine pour tenter de vérifier chez l'homme l'existence de mécanismes d'adaptation circulatoires déjà mis en évidence chez l'animal et pour calculer le débit sanguin pulmonaire, son interprétation reste très difficile et nécessite la vérification de nombreux autres paramètres.

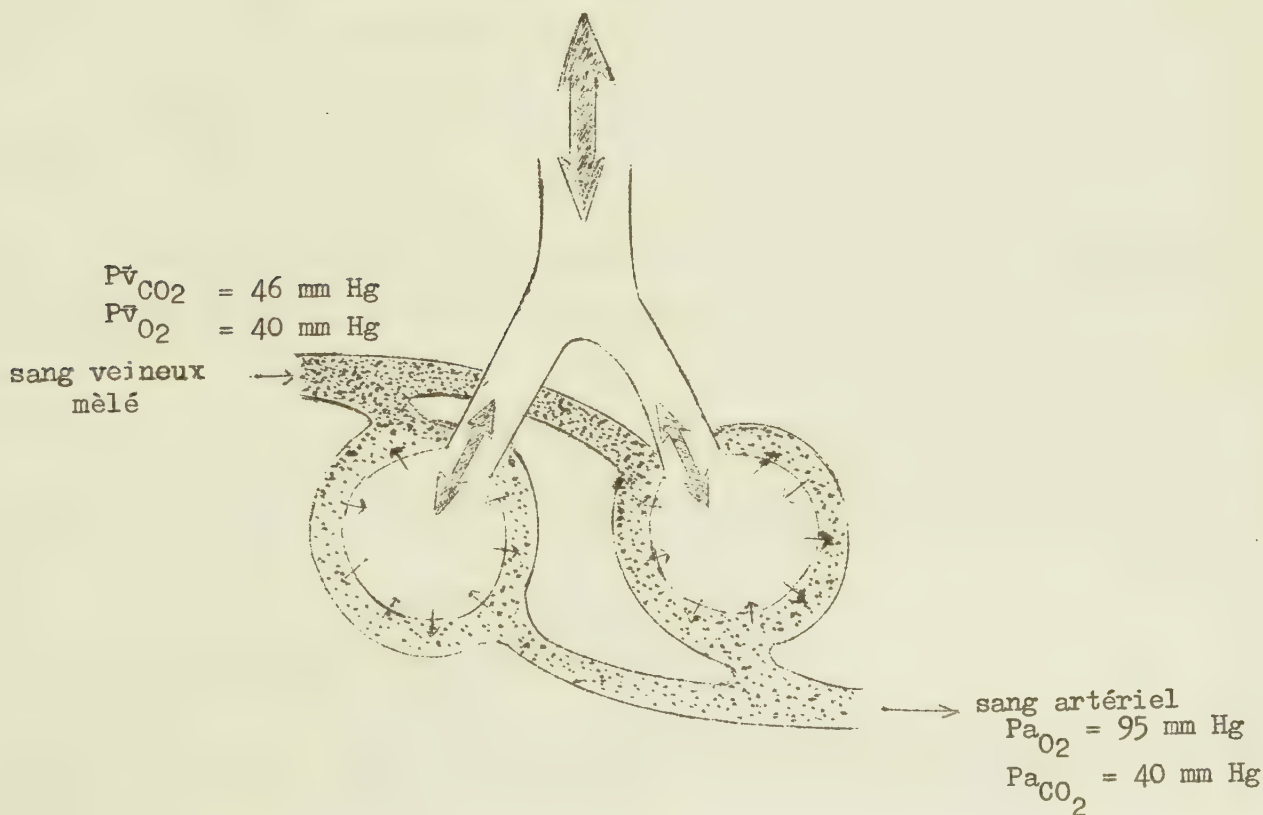
d) Epreuve d'effort :

Elle consiste à faire pédaler le sujet en position semi-couchée sur une bicyclette ergométrique. L'effort demandé peut varier entre 20 et 80 watts. Malgré les difficultés techniques de cette méthode, les résultats peuvent être intéressants car ils apportent un renseignement supplémentaire au bilan fonctionnel préopératoire.

CHAPITRE II

BASES PHYSIOLOGIQUES ET PHYSIOPATHOLOGIQUES

La fonction principale de la ventilation pulmonaire est d'apporter de l'oxygène aux tissus tout en éliminant le gaz carbonique excrété par ces derniers. Le sang veineux mêlé, à mesure qu'il circule dans le capillaire alvéolaire, s'enrichit en O_2 et s'appauvrit en CO_2 selon le schéma ci-dessous (COMROE).



Divers mécanismes interviennent au cours de cette transformation. Ce sont :

- la ventilation alvéolaire
- la diffusion alvéolo-capillaire
- le rapport ventilation alvéolaire/circulation capillaire pulmonaire
- l'effet shunt physiologique.

I - LA VENTILATION ALVEOLAIRE :

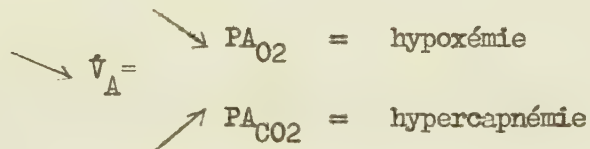
C'est la portion "efficace" de la ventilation/minute.
Elle s'exprime par la formule suivante :

$$\dot{V}_A : (V_C - V_M) F$$

où : $\dot{V}_A$: ventilation alvéolaire
 V_C : volume courant
 V_M : volume de l'espace mort
 F : fréquence ventilatoire.

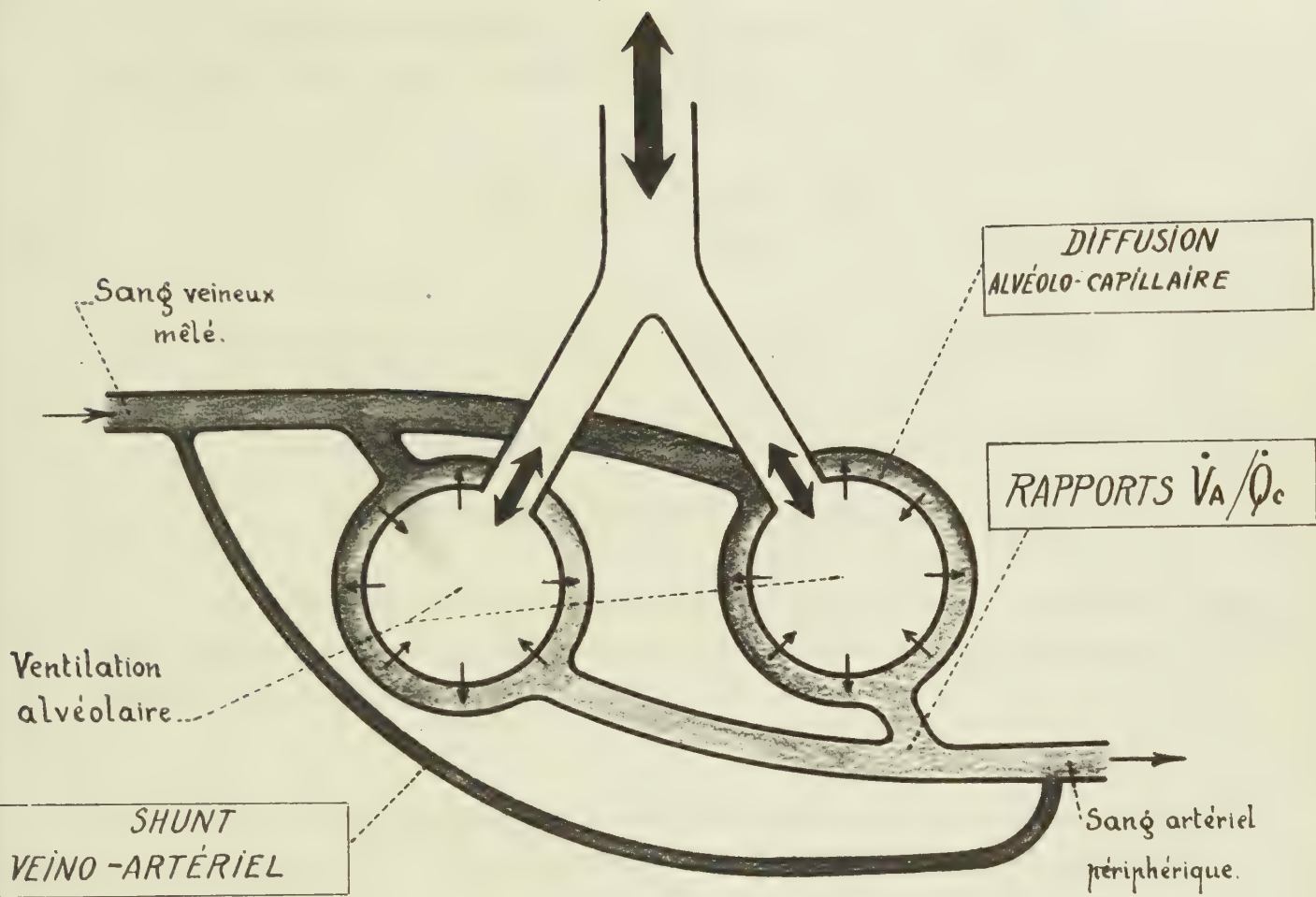
Sa valeur normale est d'environ 4 litres/minute pour une ventilation globale de 6 litres/minute.

Sa diminution entraîne une réduction de la P_{O_2} et une augmentation de la P_{CO_2} alvéolaires d'où hypoxémie et hypercapnémie.



II - LA DIFFUSION ALVEOLO-CAPILLAIRE :

C'est l'ensemble des mécanismes qui président au passage de l'oxygène et du gaz carbonique de l'air alvéolaire vers le sang capillaire pulmonaire et vice-versa.



MÉCANISMES INTERVENANT DANS LA FONCTION VENTILATOIRE

IV - LE RAPPORT VENTILATION ALVEOLAIRE/CIRCULATION CAPILLAIRE PULMONAIRE

a) Global

Il est normalement égal à 0,8 et correspond à une ventilation alvéolaire de 4 l/min. pour un débit cardiaque de 5 l/min.

$$\frac{\dot{V}_A}{\dot{Q}_C} = \frac{863 (C_{VCO_2} - C_{C \cdot CO_2})}{P_{A_{CO_2}}}$$

où : C_{VCO_2} = Concentration de CO_2 dans le sang veineux mêlé

$C_{C \cdot CO_2}$ = Concentration de CO_2 dans le sang capillaire terminal mêlé.

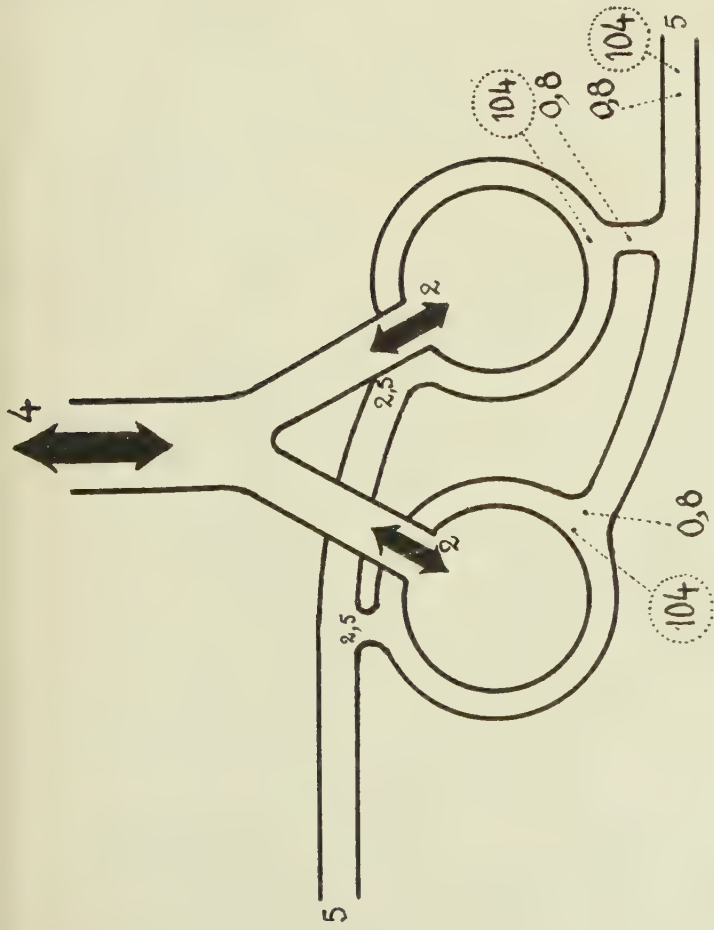
$P_{A_{CO_2}}$ = pression partielle de CO_2 dans l'air alvéolaire.

Une diminution du rapport entraîne obligatoirement une insuffisance respiratoire avec hypoxémie et hypercapnémie, alors que cela n'est pas le cas pour une diminution harmonieuse de $\dot{V}_A$ et de $\dot{Q}_C$.

b) Au niveau de l'alvéole : Pour que le sang artériel périphérique soit normalement épuré, il est nécessaire non seulement que le rapport $\dot{V}_A/\dot{Q}_C$ global soit égal à 0,8, mais aussi qu'il en soit de même au niveau de chacun des alvéoles pulmonaires.

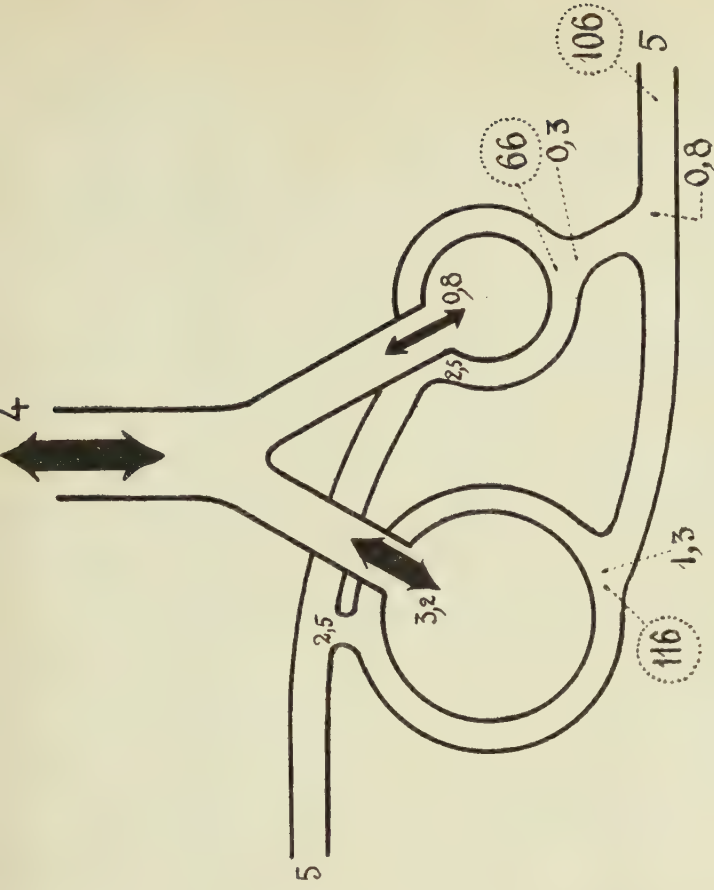
Deux exemples vont nous permettre de mieux comprendre l'importance de ce phénomène.

Les schémas et tableaux ci-contre représentent le cas idéal où Ventilation, perfusion, rapport $\dot{V}_A/\dot{Q}_C$, $P_{A_{O_2}}$, $P_{c'_{O_2}}$, P.S.O. et CO_2 total sont absolument égaux dans chacun des deux alvéoles considérés, et, au contraire, un cas de trouble ventilatoire non compensé par une adaptation circulatoire.



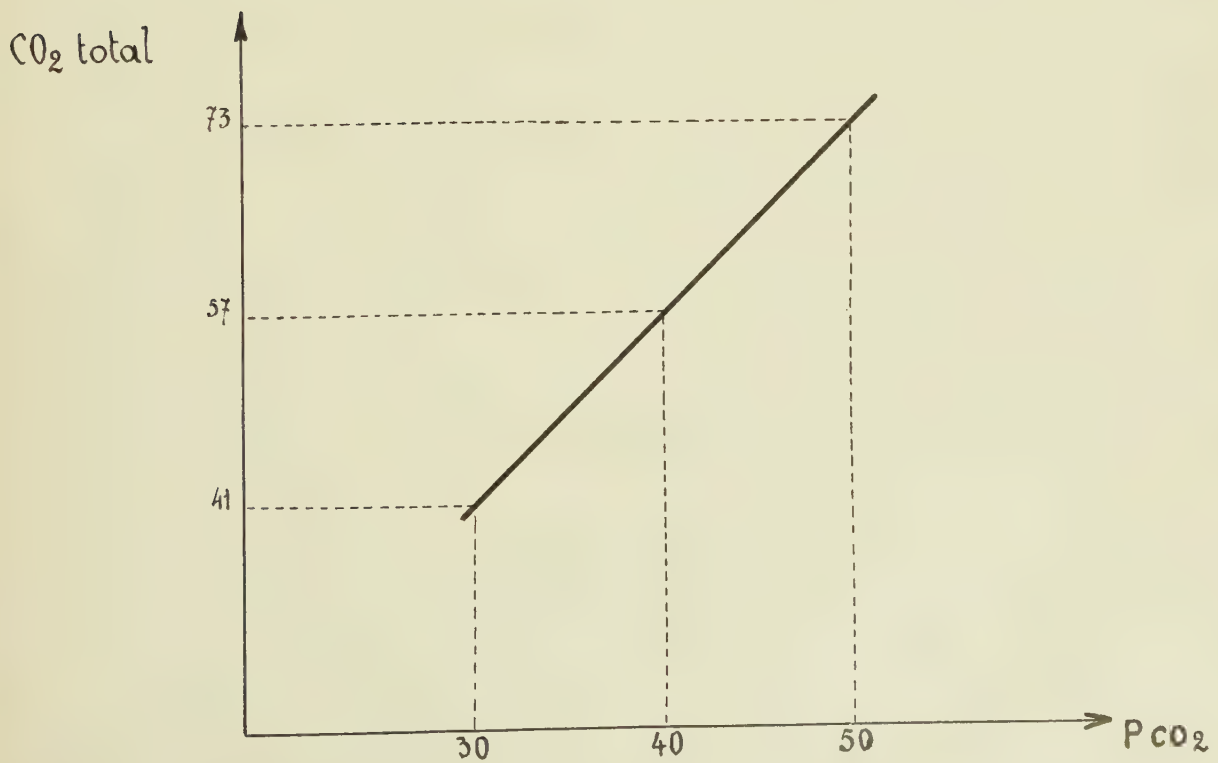
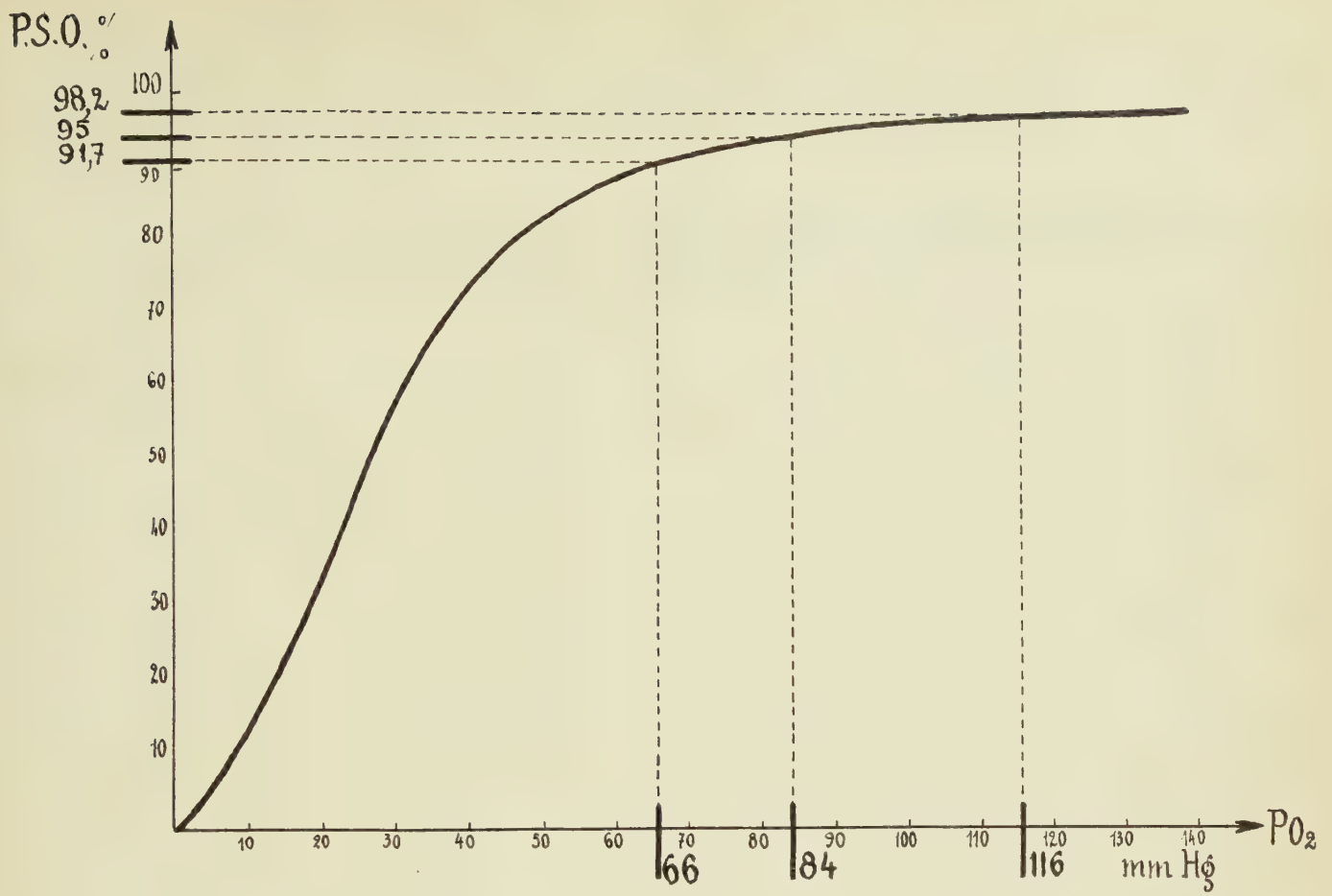
CAS IDÉAL

	A	B	A+B
$\dot{V}_A$ (l/min.)	2,0	2,0	4,0
$\dot{Q}_c$ (l/min.)	2,5	2,5	5,0
$\dot{V}_A / \dot{Q}_c$	0,8	0,8	0,8
$P_A O_2$ (mm Hg)	104	104	104
$P_c' O_2$ (mm Hg)	104	104	104
P.S.O.	97,4	97,4	97,4
CO_2 (ml O_2 / 100 ml. de sang)	19,97	19,97	19,97



TROUBLE NON COMPENSÉ

A	B	A+B
3,2	0,8	4,0
2,5	2,5	5,0
1,3	0,3	0,8
116	66	106
116	66	84
98,2	91,7	95
20,13	18,8	19,47



Si les rapports sont très différents dans les deux alvéoles, bien que le rapport global soit normal (0,8) on observera inéluctablement une hypoxémie normo-capnique, en raison même des courbes de dissociation oxyhémoglobinique et du CO_2 combiné.

Ceci montre de façon frappante l'importance du rapport $\dot{V}_A/\dot{Q}_C$ au niveau même de l'unité physiologique pulmonaire, l'alvéole.

L'EQUIVALENT RESPIRATOIRE POUR L'OXYGENE

C'est le rapport entre le volume d'air ventilé dans l'unité de temps et le volume d'oxygène consommé dans le même temps, soit :

$$E.R. O_2 = \frac{\dot{V} \text{ (volume ventilé/minute)}}{\dot{V}_{O_2} \text{ (volume d'O}_2 \text{ consommé/minute)}} \quad (1)$$

Sa valeur normale se situe autour de 26 pour les uns (ANTHONY, KNIPPING, MONCRIEF), de 22 pour d'autres (BALDWIN, COURNAND, RICHARDS).

Son augmentation traduit une hyperventilation relative ou absolue, dont l'origine peut être :

- un manque d'homogénéité ventilatoire
- un espace mort en parallèle
- un abaissement de la P_{O_2} dans l'air inspiré.

Les conditions expérimentales et la simple anxiété du patient peuvent suffir à perturber très fortement la ventilation/minute et donc l'E.R.

Par contre, la mesure de l'équivalent respiratoire est beaucoup plus intéressante en bronchspirométrie, d'abord parce qu'il s'agit de déterminations comparatives, les conditions expérimentales étant identiques, ensuite parce que leurs valeurs permettent de juger dans une certaine mesure ventilation et circulation locales.

En effet, la circulation capillaire pulmonaire est calculée d'après la formule :

$$\dot{Q}_C = \frac{\dot{V}_{O_2}}{C_{a_{O_2}} - C_{\bar{v}O_2}} \quad (2)$$

d'où l'on peut tirer :

$$\dot{V}_{O_2} = \dot{Q}_C (C_a O_2 - C_{\bar{v}} O_2) \quad (3)$$

Reportons cette valeur de $\dot{V}_{O_2}$ en (1) :

$$E.R. O_2 = \frac{\dot{V}_{O_2}}{\dot{Q}_C (C_a O_2 - C_{\bar{v}} O_2)} = \frac{\dot{V}_{O_2}}{\dot{Q}_C} \times \frac{1}{C_a O_2 - C_{\bar{v}} O_2}$$

Outre les réserves formulées plus haut, trois grandes causes d'erreur doivent être considérées :

- 1°) Nous mesurons la ventilation globale à la bouche et non la ventilation alvéolaire. Une variation éventuelle de l'espace mort nous échappe.

- 2°) Une variation éventuelle du shunt anatomique ne peut être considérée comme impossible.

- 3°) Une modification éventuelle de la capacité de diffusion au niveau d'un poumon ne peut être mesurée.

Voici les trois cas extrêmes susceptibles de se rencontrer au niveau d'un poumon, et leur conséquence sur $E.R. O_2$

Ventilation	Perfusion	$E.R. O_2$
Normale	Normale	Normale
Normale	Nulle	Infinie
Nulle	Normale	Zéro

PHYSIOPATHOLOGIE DES EPREUVES DE CHARGE

I - OBLITERATION SIMULTANEE DE L'ARTERE PULMONAIRE ET DE LA BRANCHE SOUCHE HOMOLATERALES

Réalisée en 1951 par CARLENS et coll. sur l'animal puis chez l'homme par WENZL et STRAHLBERGER et par COURNAND et son équipe en 1955 et 58, cette épreuve nécessite une bronchspirométrie et un cathétérisme cardiaque simultanés.

Seules ces conditions rejoignent pratiquement celles d'une pneumonectomie, ventilation et circulation étant abolies. Cependant, les difficultés techniques d'une telle méthode jointes à un certain risque pour le malade la rendent pratiquement irréalisable en routine fonctionnelle pulmonaire.

a/ Poumon exclu :

Ventilation et perfusion sont totalement abolies.

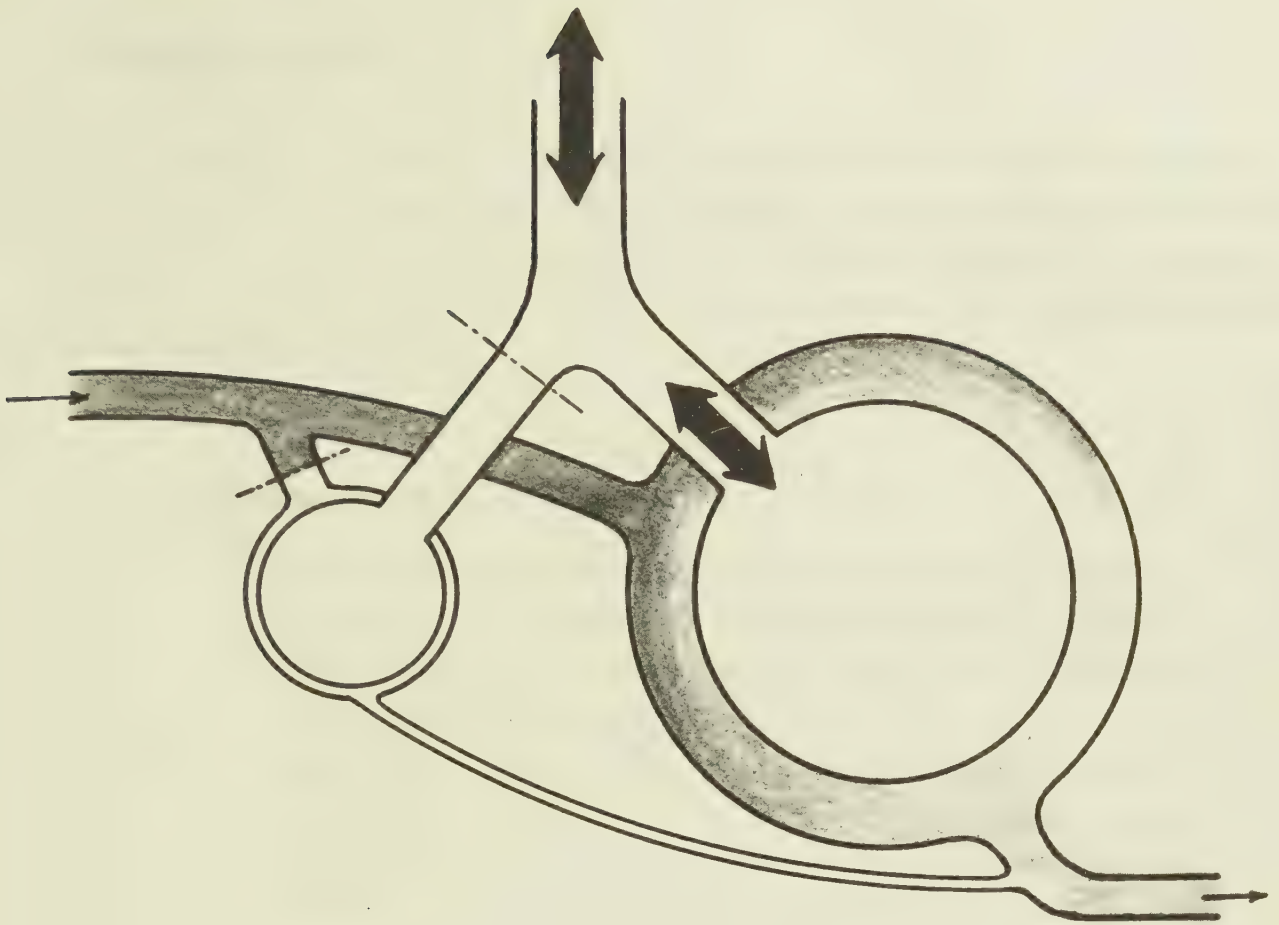
C'est une pneumonectomie fonctionnelle.

b/ Poumon controlatéral :

S'il est normal, il doit pouvoir doubler sa ventilation alvéolaire et sa circulation capillaire.

c/ Sur le plan global :

Les échanges gazeux doivent normalement être maintenus à leur valeur initiale.



OBLITERATIONS SIMULTANNEES
DE L'ARTERE PULMONAIRE
ET DE LA BRANCHE SOUCHE HOMOLATERALES

$$\dot{V}_A = 0$$

$$\dot{Q}_c = 0$$

$$\dot{V}_{O_2} = 0$$

$$\dot{V}_A \times 2$$

$$\dot{Q}_c \times 2$$

$$\dot{V}_{O_2} \times 2$$

$Sa O_2$. PaO_2 . CO_2 total . PcO_2 . pH
ne varient pas

II - L'ÉPREUVE D'ARNAUD

Comme nous l'avons vu plus haut, elle consistait à l'origine, à permettre une bronchspirométrie sans sonde à double lumière, en bloquant simplement une bronche souche à l'aide d'un ballommet gonflé. Ceci était donc déjà en fait une épreuve de charge. On obtient maintenant le même effet en clampant l'un ou l'autre des pavillons de la sonde de CARLENS.

a) Poumon exclu :

La consommation d'oxygène n'est pas immédiatement supprimée. La brutalité de l'épreuve et l'hyperréflexivité du patient peuvent avoir des conséquences sans rapport avec l'aspect purement ventilatoire de l'examen.

Mais surtout, il s'établit évidemment un shunt circulatoire non physiologique important et une hypoxie hypercapnique entraînant des réactions générales et locales, dont une hyperventilation contralatérale qui va permettre de chasser assez de CO_2 pour maintenir la Pa_{CO_2} à une valeur normale.

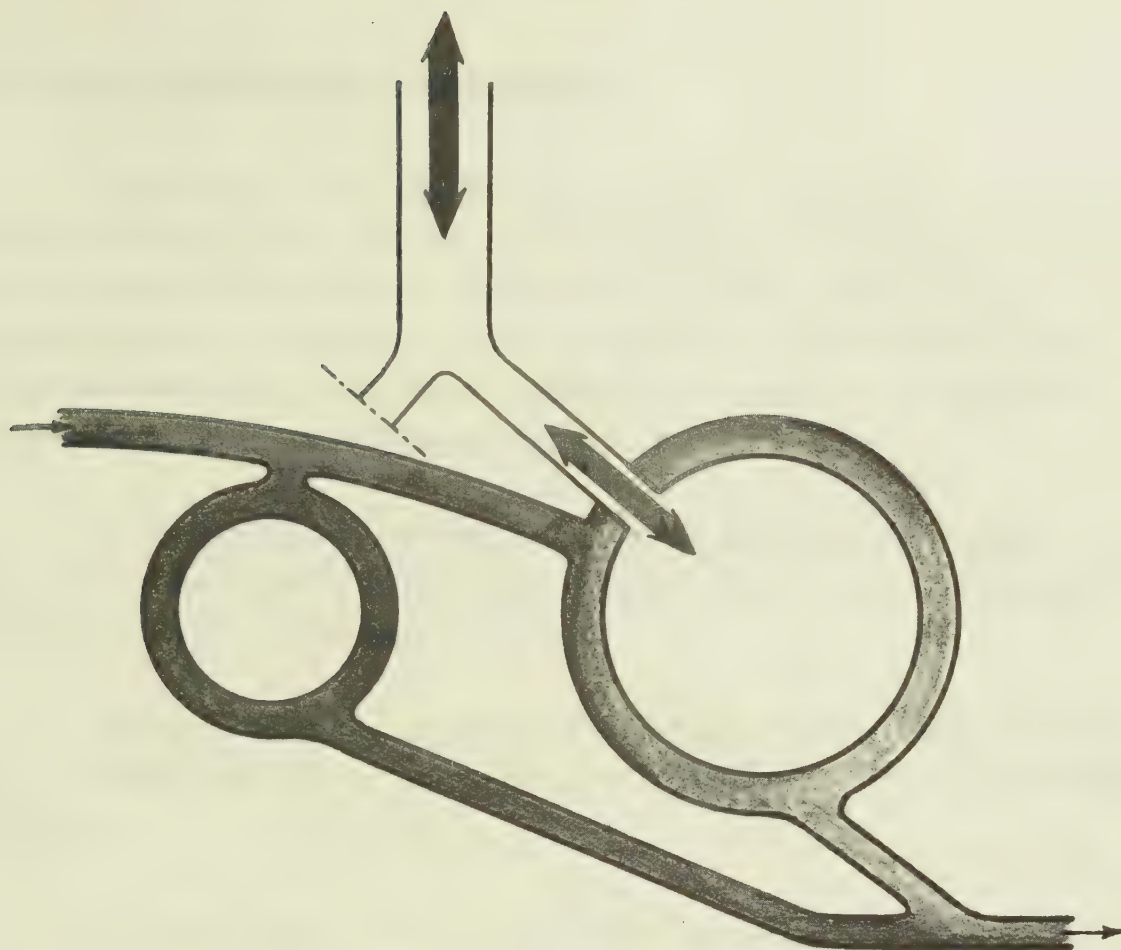
b) Poumon contralatéral :

On observe donc une hyperventilation et une augmentation de la consommation d'oxygène.

c) Au total :

Il apparaît une hyperventilation avec modifications locales et globales du débit cardiaque, à cause de la tachycardie presque constante.

L'intrication des conséquences normales et "d'artefacts" dus à la technique opératoire rend très difficile l'interprétation de "l'épreuve d'ARNAUD". Son seul avantage est sa facilité d'exécution.



ÉPREUVE D'ARNAUD

$$\dot{V} = 0$$

$$\dot{V}_{O_2} = 0$$

$$\dot{Q}_c \text{ normale (?)}$$

HYPOXIE

HYPERCAPNIE

HYPOXEMIE

HYPERCAPNEMIE

$$\dot{V} \nearrow$$

$$\dot{V}_{O_2} \nearrow$$

$$\dot{Q}_c \nearrow$$

(?)

HYPEROXIE

HYPOCAPNIE

HYPEROXEMIE

HYPOCAPNEMIE

$$Sa O_2 = \searrow$$

$$PaO_2 = \searrow$$

pH. CO_2 total. P_{CO_2} = normaux

III - EPREUVE DE REINSPIRATION UNILATERALE

Elle présente l'avantage d'être progressive. Ainsi, avec le spirographe utilisé ici (espace mort d'environ 4 à 5 litres) il faut attendre 20 à 25 minutes pour atteindre l'équilibre entre les pressions partielles d'oxygène et de CO_2 dans le sang capillaire pulmonaire et dans l'atmosphère du spirographe. Là aussi se produit un shunt non physiologique important et l'on décrit classiquement un abaissement de Sa_{O_2} et une hypercapnémie.

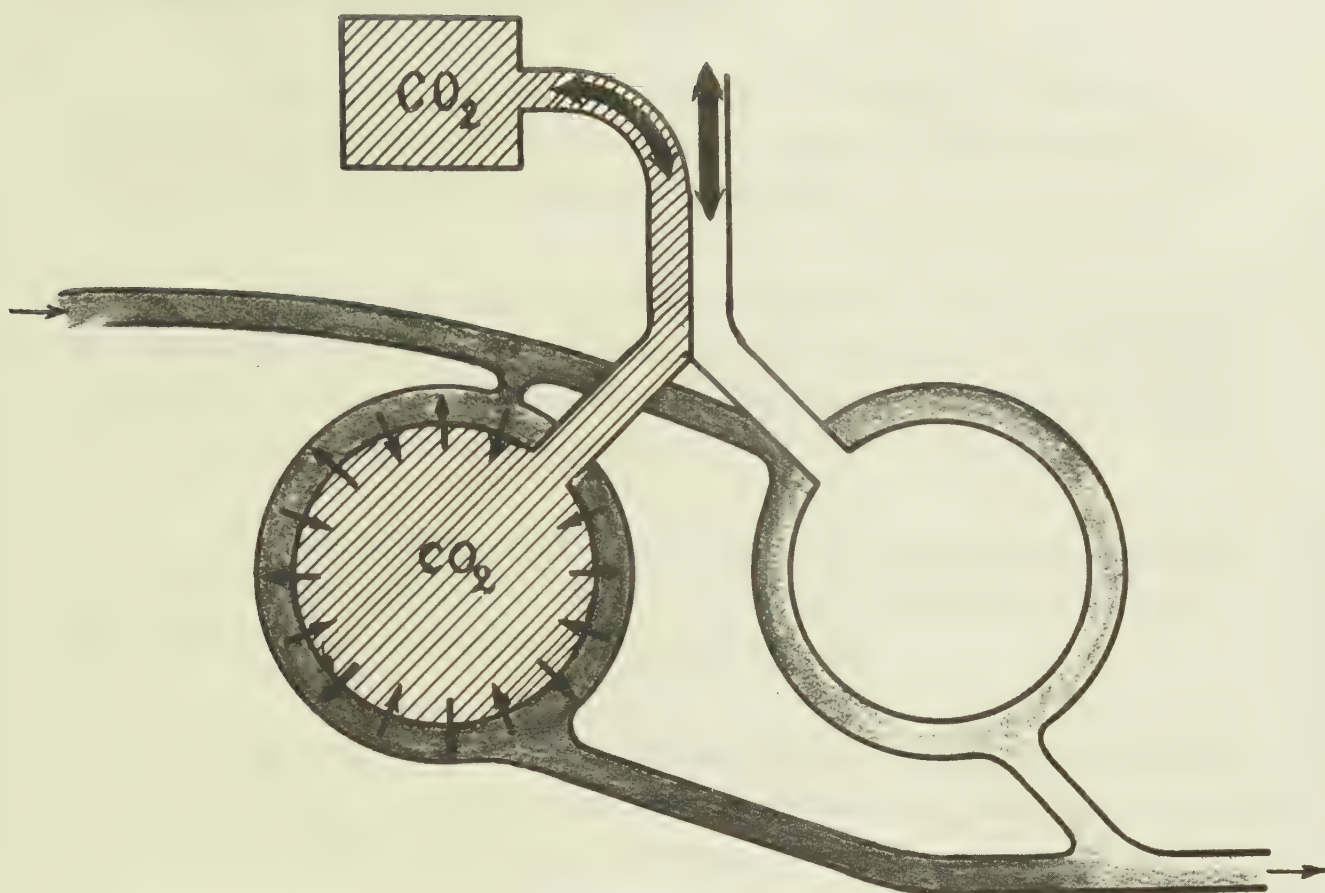
La diminution de pression partielle d'oxygène dans l'air inspiré peut modifier la répartition des débits sanguins locaux et par ailleurs créer une hyperventilation réflexe.

Il s'agit en résumé d'une épreuve difficile à interpréter, et, comme le dit GARBAGNI, donnant des résultats assez peu différents de ceux de l'épreuve d'ARNAUD.

a) Poumon exclu : la ventilation augmente considérablement. La consommation d'oxygène diminue secondairement. Il s'établit un shunt puisque la circulation capillaire pulmonaire n'est pas abolie.

b) Poumon controlatéral : la ventilation augmente considérablement. La consommation d'oxygène s'accroît. L'équivalent ventilatoire pour l'oxygène augmente légèrement et la concentration moyenne de CO_2 dans l'air expiré ne varie pas.

c) Au total : L'hyperventilation globale est importante. La saturation oxyhémoglobinée et la Pa_{O_2} sont abaissées.



EPREUVE DE REINSPIRATION UNILATERALE

HYPOXIE

HYPERCAPNIE

HYPOXEMIE

HYPERCAPNEMIE I E

$\dot{V}$ $\nearrow$
 $\dot{V}O_2$ $\searrow$
 $Fe\ CO_2$ $\nearrow$

HYPEROXIE

HYPOCAPNIE

HYPEROXEMIE

HYPOCAPNEMIE

$\dot{V}$ $\nearrow$
 $\dot{V}O_2$ $\nearrow$
 $Fe\ CO_2 =$

$Sa\ O_2$ et $Pa\ O_2$ $\searrow$
 $pH - CO_2\ total - Pa\ CO_2 =$ normaux

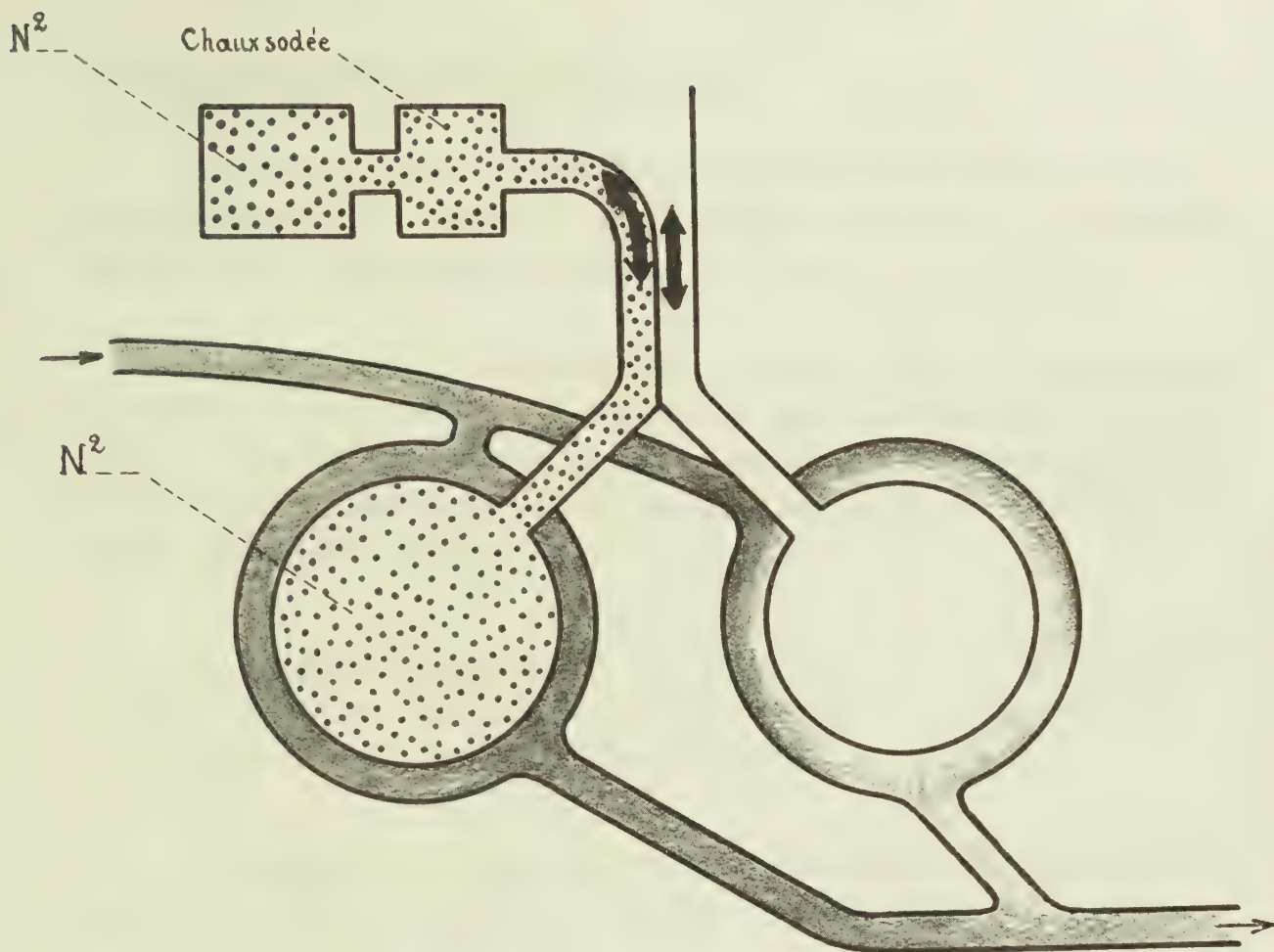
IV - EPREUVE D'HYPOXIE UNILATERALE A L'AZOTE

Le poumon dont on envisage l'exclusion temporaire ou l'ablation est ventilé en atmosphère d'azote pur. Sa circulation n'est pas affectée et il se produit donc là aussi un shunt veino-artériel.

a) Poumon exclu : les conditions expérimentales étant satisfaisantes, on ne doit pas observer de modifications significatives de la ventilation. La circulation demeurant normale, il s'établit un shunt veino-artériel pulmonaire entraînant une hypoxémie normocapnique.

b) Poumon controlatéral : la ventilation n'augmente pas. Par contre, la consommation d'oxygène s'accroît, ce qui ne peut s'expliquer que par une augmentation de la circulation capillaire pulmonaire.

c) Au total : la ventilation globale n'est évidemment pas affectée. Au niveau des gaz du sang, on observe une baisse de la Sa_{O_2} et de la Pa_{CO_2} , alors que les autres paramètres demeurent normaux.



EPREUVE D'HYPOXIE UNILATERALE A L'AZOTE

T E

HYPOXIE

HYPOXEMIE

NORMOCAPNIE

NORMOCAPNEMIE

NORMOXIE (?)

NORMOXEMIE (?)

NORMOCAPNIE

NORMOCAPNEMIE

$\dot{Q}_c = \text{normal}$
 $\dot{V}_{O_2} \searrow$

$\dot{Q}_c \nearrow$
 $\dot{V}_{O_2} \nearrow$

SaO_2 et $PO_2 \searrow$
 pH CO_2 total et $PCO_2 = \text{normaux}$

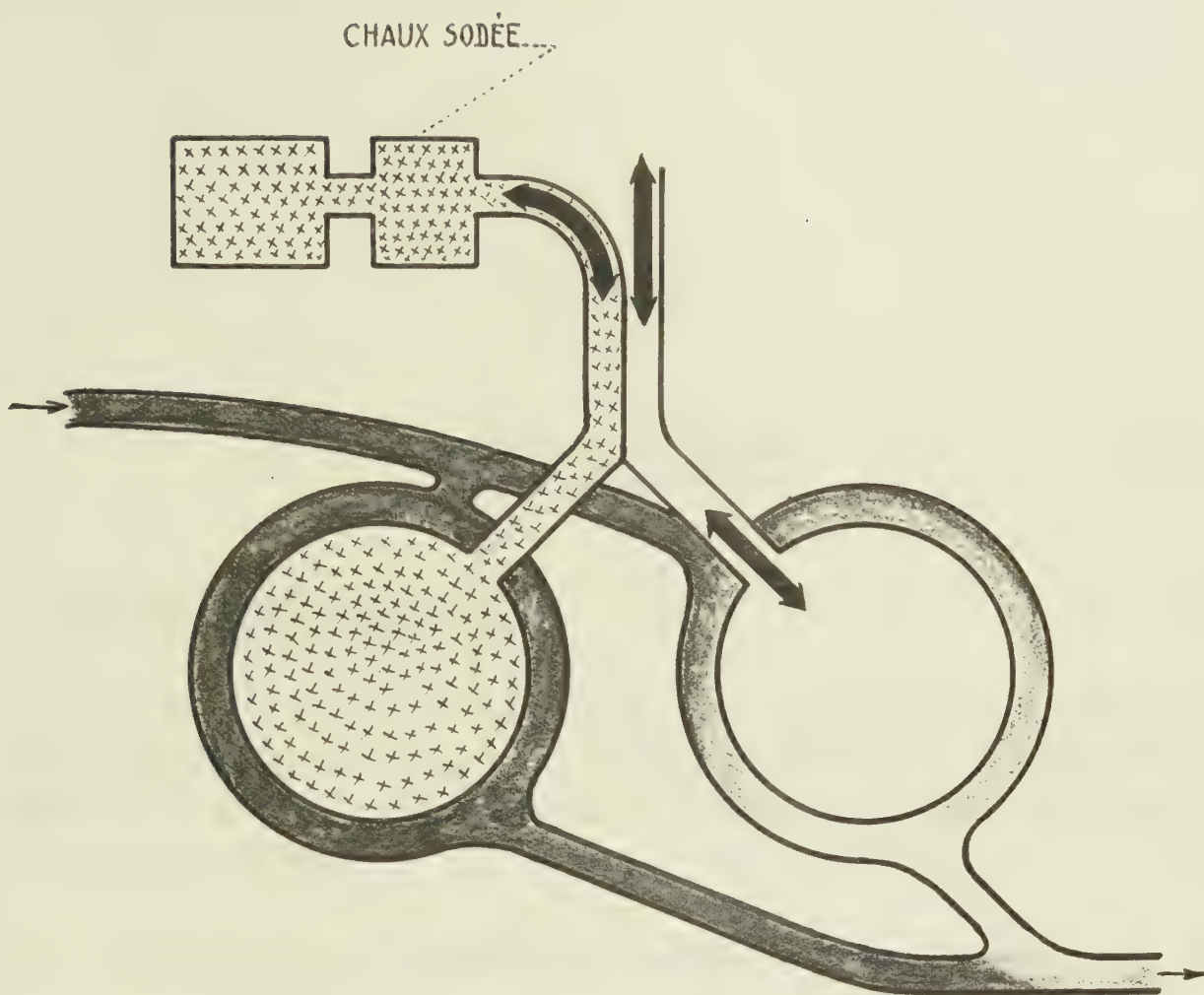
V - HYPOXIE PROGRESSIVE ALVEOLAIRE UNILATERALE

Le poumon à étudier est mis en relation avec un circuit spirographique fermé dans lequel on ne réalise pas de compensation d'oxygène. La concentration d'oxygène dans le circuit va donc diminuer peu à peu.

a) Poumon exclu : la concentration en oxygène dans l'air inhalé diminue progressivement pour atteindre 4 % en fin d'épreuve. La ventilation ne varie pas. La consommation d'oxygène devient de plus en plus faible et l'équivalent respiratoire s'accroît considérablement. La concentration de CO_2 en fin d'expiration diminue, ainsi que le débit de CO_2 .

b) Poumon controlatéral : La ventilation ne varie pas. La consommation d'oxygène augmente et l'équivalent respiratoire diminue. La concentration en gaz carbonique à la fin de l'expiration s'accroît.

c) Au total : on observe au niveau des paramètres hémorespiratoires une hypoxémie normocapnique semblable à celle de l'épreuve d'ARNAUD, mais qui a le mérite de s'établir lentement.



HYPOXIE PROGRESSIVE ALVEOLAIRE UNILATERALE

$\dot{V}$ normale
 $\dot{V}O_2$ tend vers 0
 $E.RO_2$ ↗
 $FECO_2$ ↘

$\dot{V}$ normale
 $\dot{V}O_2$ augmente
 $E.RO_2$ ↘
 $FECO_2$ ↗

PO_2 et SaO_2 ↘
 $pH - CO_2$ total . PCO_2 normales

CHAPITRE III

A - MATERIEL UTILISE

I - LA SONDE DE BRONCHOSPIROMETRIE

Depuis plus de quarante ans, époque où les premières tentation d'examen séparé chez l'homme sont couronnées de succès, l'ingéniosité des chercheurs et les progrès de la technique donnent naissance à de très nombreux cathéters, de plus en plus perfectionnés.

Pour reprendre une nomenclature classique, nous les diviserons en :

A - CATHETERS A CANALISATION UNIQUE :

a - Catheters rigides :

- bronchoscope de FRENCKNER et JACOBÆUS
- bronchoscope de BRETON et MEREAU

b - Cathéters semi-rigides :

- bronchoscope de BAILEY-RUTH
- Sonde de NORRIS.

c - Catheters souples :

- sondes en gomme sans, puis avec ballonnet.

B - CATHETERS A DOUBLE CANALISATIONS

a - Cathéters rigides :

- Bronchoscope de BJOKMANN

b - Catheters souples :

- Sonde de ZAVOD
- Sonde de GEBAUER
- Sonde de CARLENS (1949)

Nous avons utilisé exclusivement cette dernière, sur laquelle nous allons nous attarder quelques instants.

CONSIDERATIONS TECHNIQUES

Les critères de la sonde de bronchospirométrie idéale sont les suivants :

- parfaite étanchéité avec l'extérieur,
- parfaite étanchéité d'un poumon par rapport à l'autre,
- résistances minimales,
- résistances égales à gauche et à droite,
- facilité d'introduction,
- facilité de repérage normal et radiologique,
- bonne tolérance,
- bonne robustesse générale.

La sonde de CARLENS les réunit au mieux. Sa courbure correspond aussi parfaitement que possible à la forme des voies respiratoires entre les arcades dentaires et la bifurcation trachéale. Ses deux tubes de gros diamètre garantissent une résistance extrêmement faible, permettant même certaines épreuves d'effort.

Les anneaux de fixation des ballonnets sont opaques aux Rayons X pour faciliter le repérage sous écran.

Un ergot de caoutchouc vient en quelque sorte se mettre à cheval sur la carène et empêche la sonde d'aller trop loin. L'extrémité de la sonde, grâce à sa forme et à sa courbure particulières s'enfonce dans la bronche souche gauche jusqu'à ce que l'ergot soit en place. Les ballonnets d'étanchéité sont robustes, et la bonne qualité du gonflage peut être vérifiée à l'extérieur grâce à deux petit ballons-témoins de couleurs différentes.

Enfin, la résistance à la torsion et à l'écrasement est particulièrement grande.

Le seul petit inconvénient est le volume même de l'ergot rendant parfois difficile le passage de la sonde au niveau de la glotte. L'habitude vaincra ce défaut. Certains préfèrent maintenir l'ergot contre la sonde à l'aide d'une boucle de fil lors de l'introduction. Après franchissement de la glotte, on tire sur le fil pour libérer l'ergot qui reprend sa position initiale.

En utilisant la technique décrite plus loin, nous avons pu réaliser des examens dont la durée totale dépassait une heure, sans aucun inconvénient pour le malade.

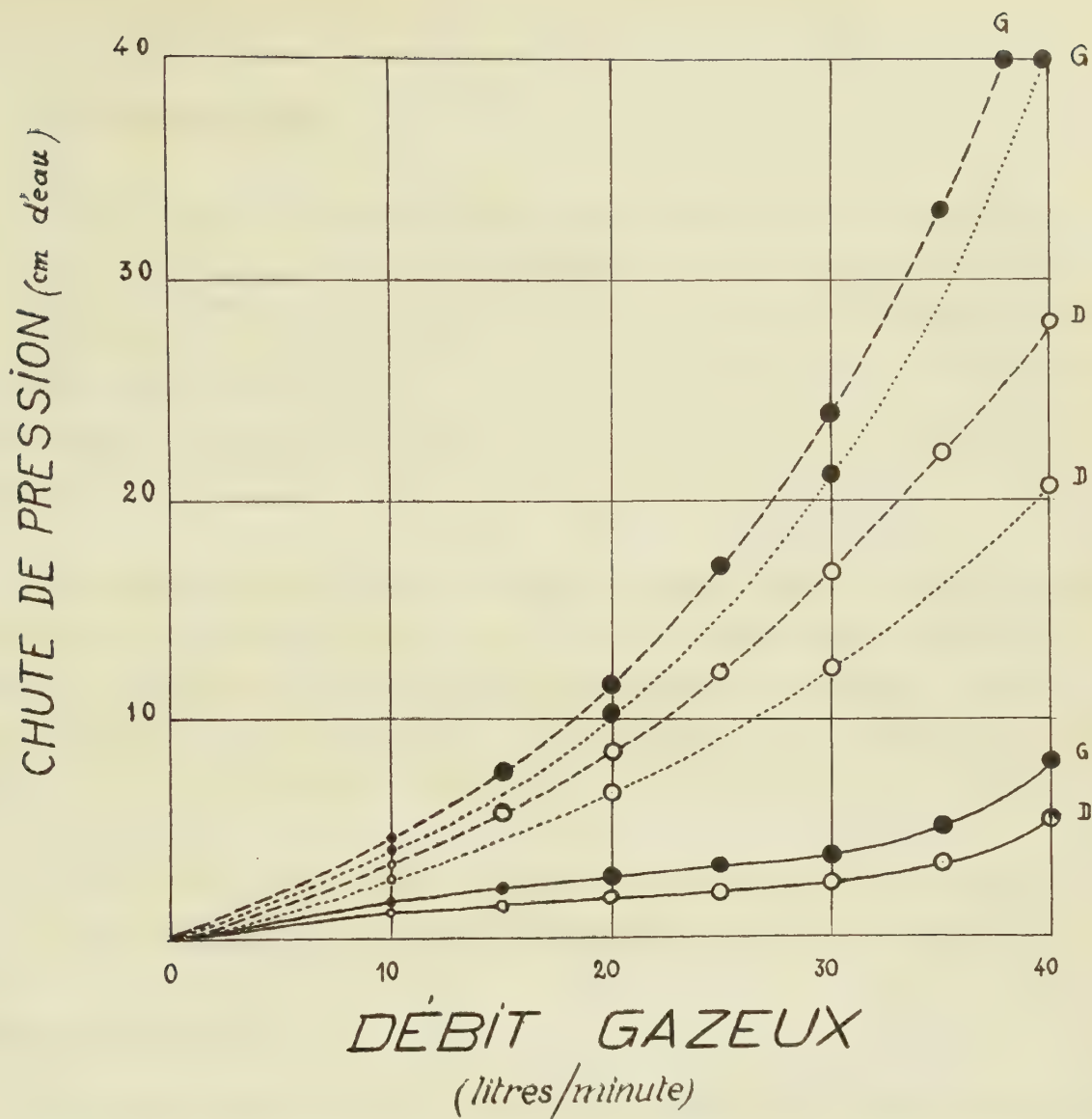
Les anneaux de fixation des ballonnets sont opaques aux Rayons X pour faciliter le repérage sous écran.

Un ergot de caoutchouc vient en quelque sorte se mettre à cheval sur la carène et empêche la sonde d'aller trop loin. L'extrémité de la sonde, grâce à sa forme et à sa courbure particulières s'enfonce dans la bronche souche gauche jusqu'à ce que l'ergot soit en place. Les ballonnets d'étanchéité sont robustes, et la bonne qualité du gonflage peut être vérifiée à l'extérieur grâce à deux petit ballons-témoins de couleurs différentes.

Enfin, la résistance à la torsion et à l'écrasement est particulièrement grande.

Le seul petit inconvénient est le volume même de l'ergot rendant parfois difficile le passage de la sonde au niveau de la glotte. L'habitude vaincra ce défaut. Certains préfèrent maintenir l'ergot contre la sonde à l'aide d'une boucle de fil lors de l'introduction. Après franchissement de la glotte, on tire sur le fil pour libérer l'ergot qui reprend sa position initiale.

En utilisant la technique décrite plus loin, nous avons pu réaliser des examens dont la durée totale dépassait une heure, sans aucun inconvénient pour le malade.



Résistances comparées de 3 sondes aux débits gazeux.

—— CARLENS - - - - - GEBAUER ZAVOD

[GAENSLER, MALONEY BJORK. J. Lab. Clin. Med. 39. 935 (1952)]

II - LE SPIROGRAPHE

Malgré toutes les qualités qu'elle peut avoir, une sonde intra-trachéale introduit obligatoirement une certaine résistance dans le circuit et il paraît peu judicieux d'augmenter encore cette dernière en utilisant un spiromètre double à soupapes. L'idéal dans ce cas serait peut-être d'utiliser deux pneumotachographes avec intégrateurs de volume, mais cette solution élégante pose, en raison de son coût élevé et des techniques afférentes, des problèmes que nous n'avons pas pu résoudre.

La seconde solution était de prendre deux spiromètres ventilés, à circuits fermés, munis d'un système d'absorption de CO_2 et de compensation automatique de consommation d'oxygène, permettant ainsi aux deux poumons de respirer un mélange gazeux de composition constante, celle de l'air. Nous n'avons pu utiliser un tel montage qu'à quelques reprises (1) pour vérifier l'exactitude des résultats obtenus par :

la troisième solution : emploi d'un seul spiromètre double, ventilé, mais n'assurant pas sans modifications la compensation d'oxygène.

Principe de l'appareil :

Une pompe à débit réglable (0-300 l/min) crée dans un circuit fermé un flux gazeux de sens constant. Le patient est branché "en dérivation" sur ce circuit, en un point de pression nulle (égale à la pression atmosphérique). Les variations de volume se traduisent par les déplacements alternatifs d'une cloche métallique très légère, parfaitement équilibrée par un contre-poids portant le stylet inscripteur.

(1) Nous remercions les Ets DELHOMME, de Paris, qui ont bien voulu mettre à plusieurs reprises à notre disposition un second spiromètre et un second analyseur rapide de CO_2 .

La poussée d'Archimède et les frottements (câbles, poulies, contrepoids, stylets) sont réduits au minimum.

Un kymographe à trois vitesses (30, 60 et 1 200 mm/min) permet l'inscription des tracés sur un papier millimétré aisément lisible.

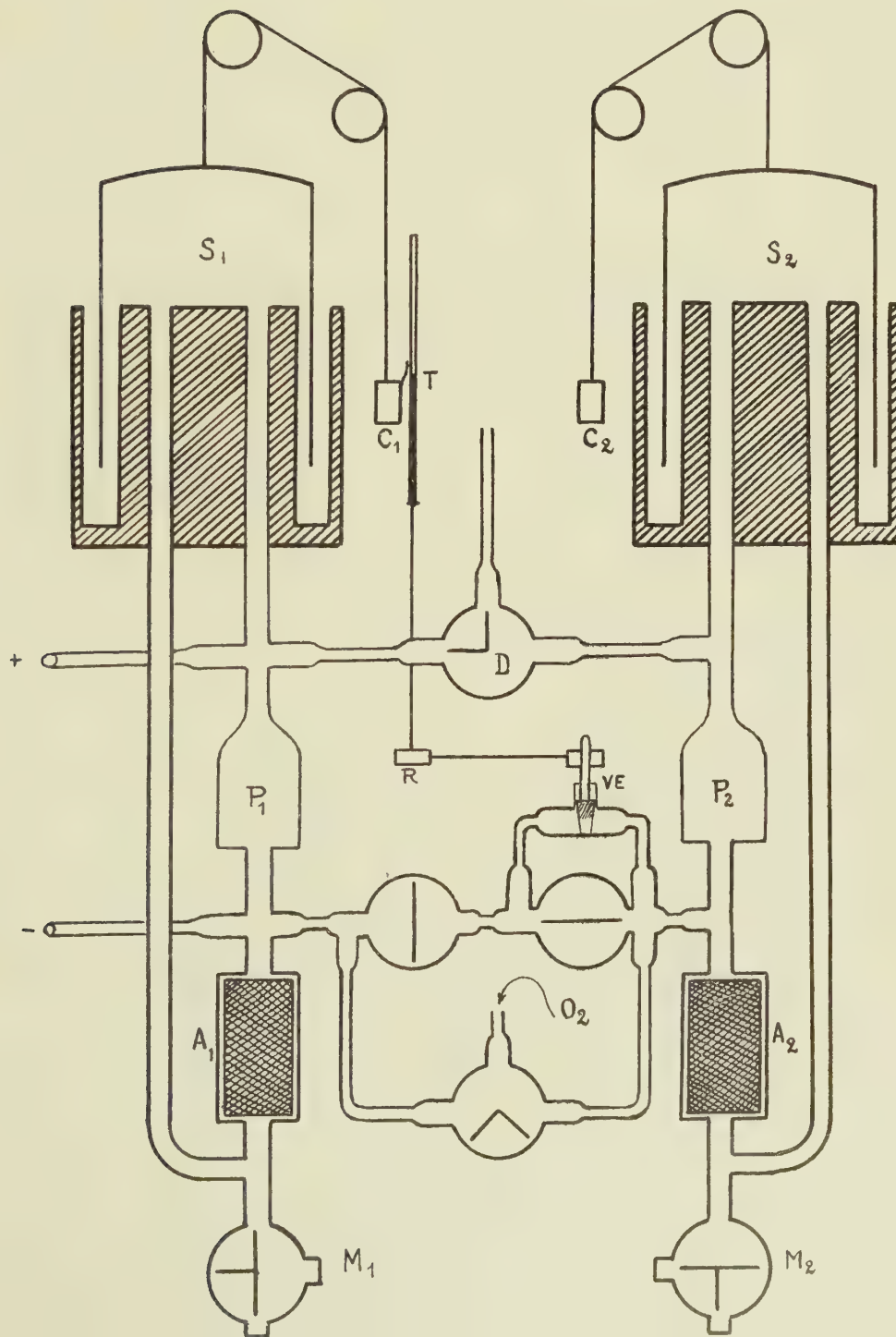
Nous avons récemment réalisé une modification simple de l'appareil utilisé ⁽¹⁾ pour assurer une compensation d'oxygène dans chaque circuit :

Le spirographe est muni à l'arrière d'une entrée pour admission temporaire d'oxygène à droite ou à gauche par l'intermédiaire d'un robinet sélecteur. Il suffit de remplacer ce robinet par une pièce en Y dont une branche reçoit le flux global de gaz tandis que les deux autres sont reliées à chacune des cloches, en intercalent un rotamètre de précision et un robinet à pointeau de chaque côté. On règle le débit de ces rotamètres en fonction de la consommation d'oxygène de chaque poumon. La position idéale est évidemment atteinte lorsque les tracés sont horizontaux.

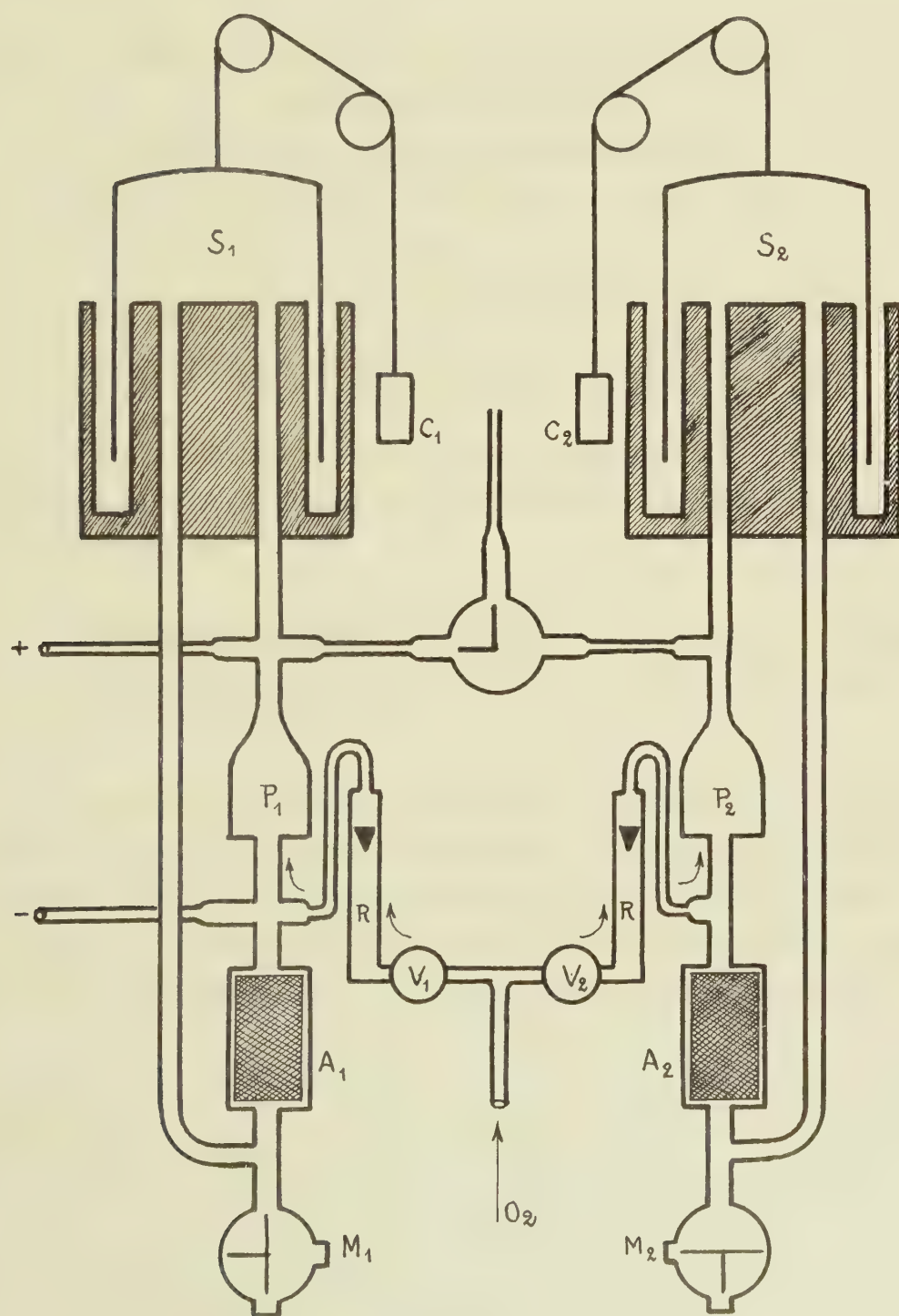
Deux robinets à deux voies, une pièce de solidarisation et un jeu de douilles de fort diamètre facilitent le branchement de la sonde de Carlens sur cet appareillage.

(1) Pulmotest GODART.

SPIROGRAPHE DOUBLE VENTILÉ



SPIROGRAPHE MODIFIÉ POUR COMPENSATION BILATÉRALE D'OXYGÈNE



III - L'ANALYSEUR DE CO₂

De nombreuses méthodes permettent de déterminer la concentration en gaz carbonique d'un mélange gazeux quelconque. Beaucoup présentent cependant des inconvénients divers :

- lenteur du temps de réponse pour les diaféromètres
(conductivité thermique)
- lenteur et complication des méthodes chimiques
- lenteur et relative médiocrité des résultats pour
les méthodes acoustiques
- complication de l'appareillage (conductivité et capacité
thermique)
- prix élevé et délicatesse (spectrographie de masse).

Nous avons besoin d'un analyseur simple, fiable, facilement étalonnable, et surtout à temps de réponse très bref. Notre choix s'est porté sur un spectrophotomètre d'absorption. ⁽¹⁾

Principe schématique : Une source de rayonnement infra-rouge possédant une certaine énergie traverse un mélange gazeux qui en absorbe une partie. On mesure la valeur de cette absorption.

Historique : C'est LUFT et LEHRER qui, les premiers, appliquent à l'analyse des gaz le principe de la spectrophotométrie d'absorption. Le premier appareil réellement utilisable fonctionne dès 1937 au Laboratoire de Contrôle des Usines I.G. FARBEN à Ludwigshafen. Il est baptisé URAS (Abréviation de "Ultra-Rot-Analysen-Schreiber" : Enregistreur d'absorption de rayonnement infra-rouge).

(1) Capnographe GODART.

et destiné au départ à l'analyse technique de mélanges gazeux en série dans l'industrie, plus particulièrement au dosage du CO , de l' H_2 , du CH_4 , du propylène.

LUFT entrevoit déjà l'application biologique de son appareil pour la détermination du taux de CO_2 dans les mélanges gazeux respiratoires.

Mc ALISTER et Coll. utilisent eux aussi en 1937 un appareil de même genre pour étudier la composition de l'air expiré.

Le temps de réponse de ces appareils est supérieur à une seconde et il convient de les étalonner avec des mélanges gazeux nombreux et soigneusement titrés.

Un peu plus tard (1949) FOWLER conçoit et utilise un analyseur basé sur un principe un peu différent. Son appareil n'est pas sélectif, mais permet d'enregistrer les variations de concentration de CO_2 avec une grande précision et un temps de réponse d'environ 0,5 sec.

Il n'existe pas à notre connaissance de version commerciale de ce séduisant appareil qui associe à un prix de revient peu élevé un temps de réponse court (0,15 seconde pour 90 % de la valeur totale), une linéarité presque parfaite entre 0 et 9 %, une insensibilité aux variations normales de pression et de température, un raccordement facile aux enregistreurs courants.

En 1952-53, BRUCK, HAAS et ULMER reprennent et améliorent l'URAS original de LUFT. L'appareil sort du domaine purement industriel, et sous une forme à la fois perfectionnée et simplifiée, peut être utilisée dans un laboratoire d'exploration fonctionnelle pulmonaire sans poser de problèmes complexes d'exploitation.

Un seul modèle étant commercialisé au moment où nous avons orienté nos travaux dans cette voie⁽¹⁾, le choix fut extrêmement simplifié. Nous possédons notre analyseur depuis maintenant plus de 6 ans et n'avons jamais éprouvé de difficultés de fonctionnement.

(1) Capnographe GODART.

Depuis lors, un second appareil basé sur le même principe a fait son apparition sur le Marché; il n'est pas question dans ce travail d'étudier les avantages respectifs des deux modèles.

Rappel physique :

Le spectre de rayonnement infra-rouge est absorbé par les molécules des gaz non élémentaires selon des bandes caractéristiques pour chacun d'entre eux.

Il existe ainsi une bande sélective pour le CO_2 ; la bande d'absorption du CO est très voisine, mais l'erreur due à la présence de ce gaz dans l'air expiré est extrêmement faible et se trouve noyée dans la marge de précision de l'appareil.

Loi de Beer-Lambert : Elle exprime que l'absorption d'une lumière monochromatique à travers une solution ne dépend que de la quantité de molécules dissoutes rencontrées par le rayon lumineux.

Le nombre de ces molécules définit évidemment la concentration de la solution. La loi s'écrit :

$$I = I_0 e^{-Klc}$$

$$\text{et } \log \frac{I_0}{I} = Klc$$

où I = rayonnement émergent

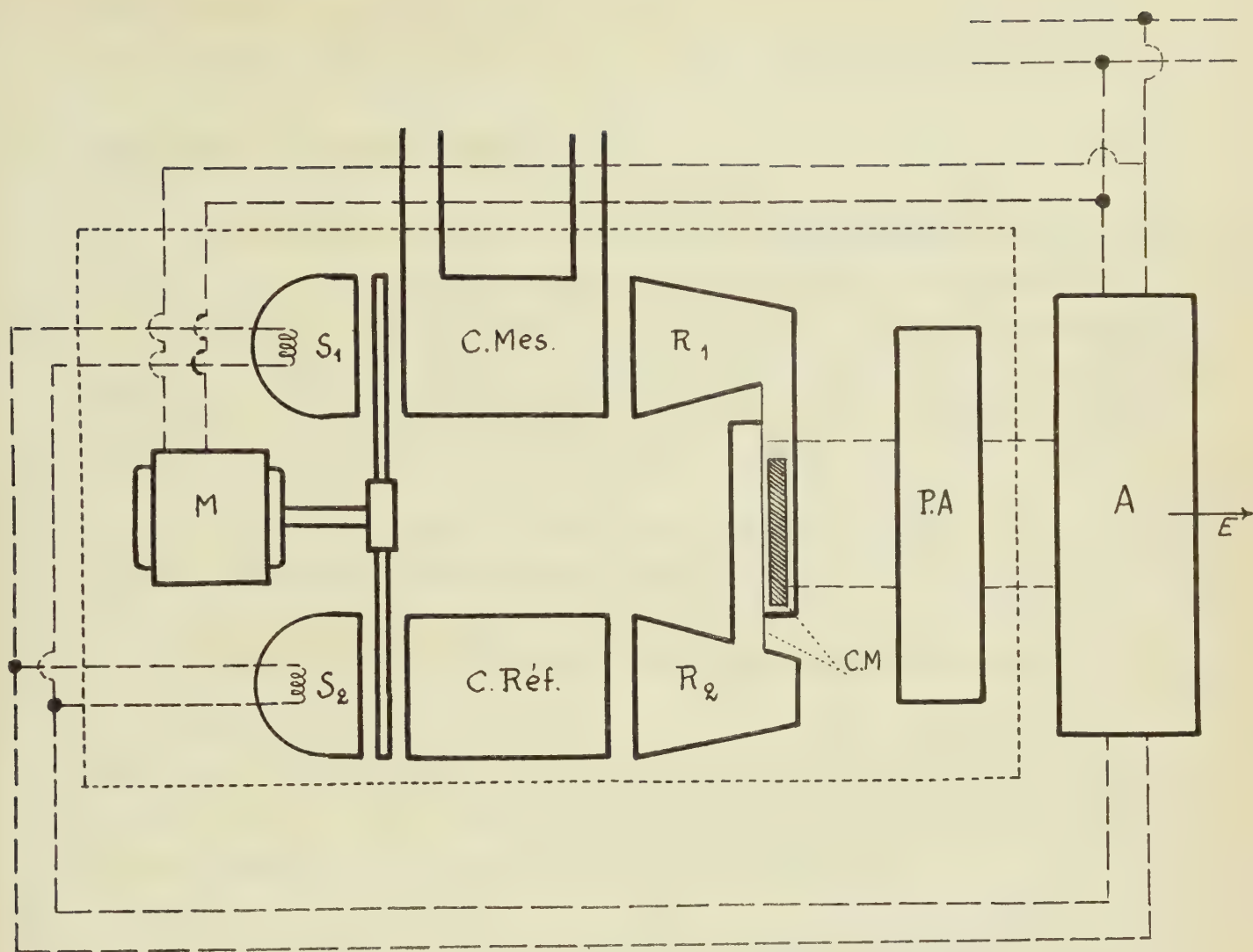
I_0 = rayonnement incident

c = concentration de la solution en molécules dissoutes

K = coefficient d'absorption ou d'extinction du milieu pour une radiation de longueur d'onde donnée

l = épaisseur traversée par le rayonnement.

I_0 , K et l étant constants, les variations de I nous permettront de calculer les variations de c . On remarquera que la fonction absorbée de l'énergie incidente



M	moteur
S_1 et S_2	sources d'infra-rouge
C. Mes.	cellule de mesure
C. réf.	cellule de référence
R_1 et R_2	récepteurs
C. M.	condensateur à membrane
P. A.	préamplificateur
A.	amplificateur
E.	vers l'enregistreur

est une fonction exponentielle de l'épaisseur traversée et de la concentration de la solution en molécules dissoutes.

Description de l'appareil utilisé

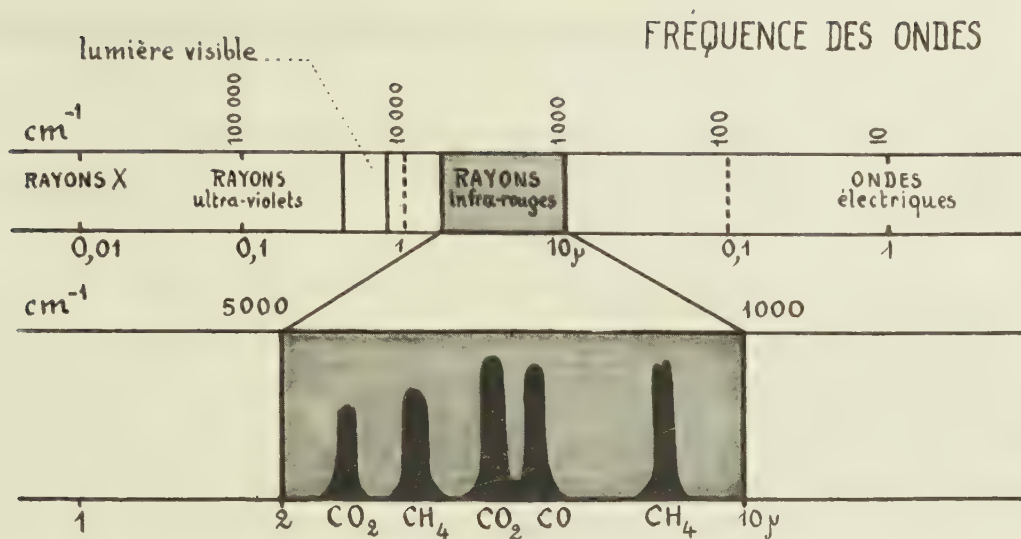
Deux sources de rayonnement infra-rouge d'intensité rigoureusement égales émettent des radiations. Celles-ci traversent respectivement une chambre de référence, comparative, emplie d'un gaz inerte (azote) et la chambre de mesure proprement dite. Un obturateur tournant, monté entre les sources et les chambres, interrompt les rayonnements de façon rigoureusement synchrone et à intervalles réguliers (25 cycles par seconde). Son importance est grande :

1) Il permet d'éviter un échauffement excessif des parois des chambres, susceptibles d'entraîner une dérive du zéro.

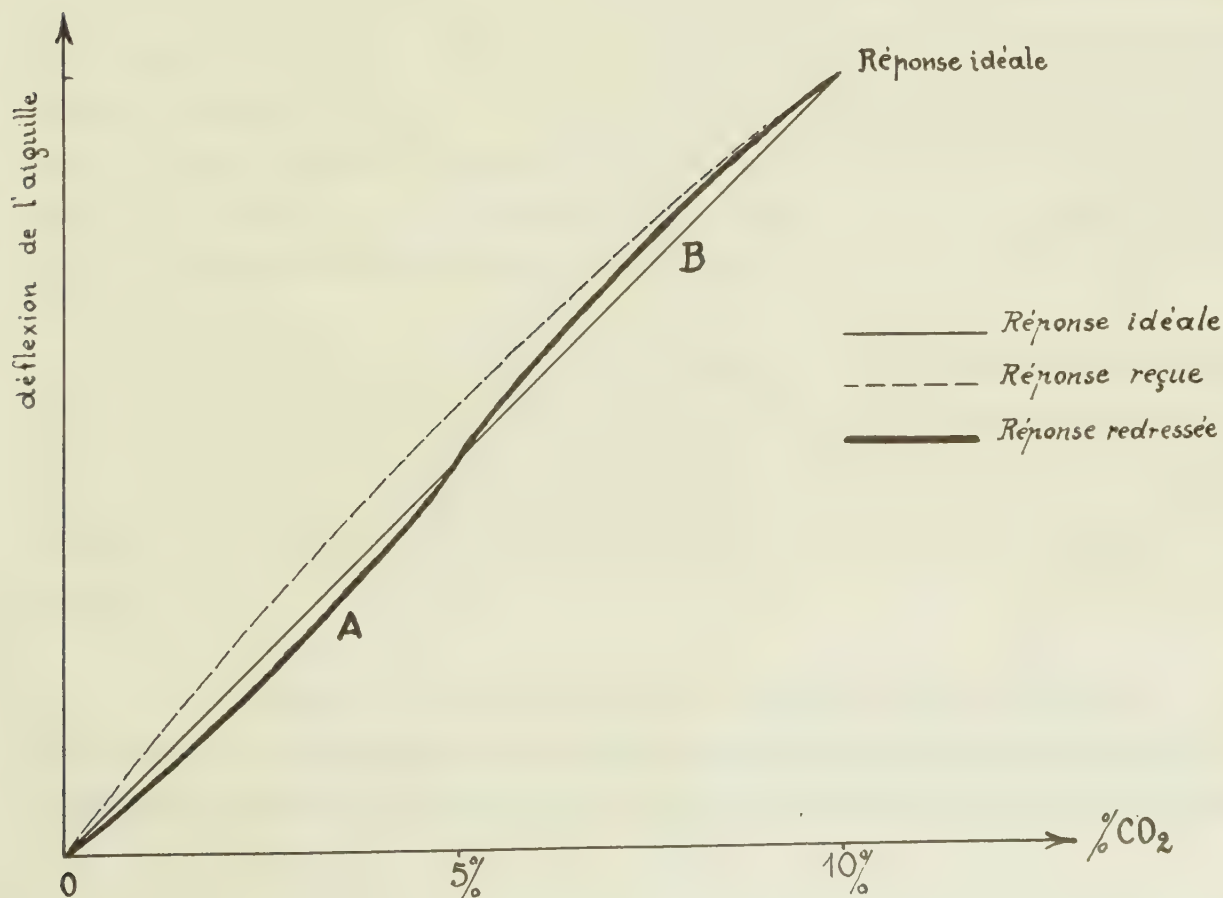
2) Il autorise l'emploi d'un amplificateur en courant alternatif.

Deux récepteurs remplis d'un mélange de CO_2 (10%) et d'azote (90%) sont placés sous la chambre de référence et la chambre de mesure. Ils possèdent une paroi commune, souple membrane de titane, constituant une armature de condensateur. La seconde est une plaque métallique cylindrique fixe.

A la sortie de la chambre de référence, le rayonnement a une certaine valeur, constante. A la sortie de la chambre de mesure au contraire, il est plus ou moins affaibli, en fonction de la concentration de CO_2 dans l'échantillon à mesurer. Les différences périodiques d'échauffement, et donc de pression entre les deux récepteurs provoquent un bombement plus ou moins important de la membrane de titane, donc des variations de capacité du condensateur. Celles-ci sont transformées en variations de tension, amplifiées et envoyées sur un galvanomètre (lecture directe ou/et enregistreur).



SPECTRE DES RAYONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES AVEC BANDES D'UTILISATION DE L'URAS M.



Caractéristiques particulières du modèle utilisé

1 - Nous avons vu plus haut (Loi de Lambert) que le rapport des énergies incidente et émergente est une fonction exponentielle de l'épaisseur traversée.

Plus l'échelle des valeurs à mesurer est petite, plus les cellules doivent être grandes. Ainsi, les analyseurs capables de travailler entre 0 et 1 % de CO_2 par exemple (usage industriel) ont souvent des chambres de mesure longues de 15 à 20 cm, sur 2 cm de diamètre environ. Ceci est impensable pour un appareil médical, étant donnée la petitesse du volume courant. Inversement, plus la cellule est petite, plus l'échelle de mesure est grande.

Si l'on désire une petite échelle et une très petite chambre, on peut évidemment améliorer les caractéristiques de l'amplificateur, mais si l'on va trop loin, le zéro de ce dernier ne sera plus stable.

Enfin, l'épaisseur de la chambre doit être choisie de façon à travailler dans une position aussi rectiligne que possible de l'exponentielle caractéristique. Sur l'URAS M, elle est de 1 mm. Le volume total de la cuvette atteint 0,400 ml. Celui de l'espace mort avant la cuvette est de 0,338 ml. Dans ces conditions, le temps de réponse depuis l'arrivée du mélange gazeux à l'entrée de cet espace mort jusqu'à la lecture sur le galvanomètre est de 0,08 seconde, pour un débit de la pompe d'aspiration atteignant environ 50 l/heure.

Le temps total de réponse est évidemment d'autant plus long que le patient est plus éloigné de la cellule de mesure. Celle-ci a donc été montée séparément, sur un bras-support permettant de l'approcher au maximum du capteur proprement dit. Ceci diminue considérablement l'espace mort total du montage. De plus, elle est entièrement chauffée, afin d'éviter la condensation de la vapeur d'eau dans la cellule.

2 - Bien que l'on travaille dans une position aussi rectiligne que possible de l'exponentielle caractéristique, la linéarité n'est pas parfaite et la déflexion de l'aiguille du galvanomètre n'est donc théoriquement pas rigoureusement

proportionnelle aux variations des concentrations en CO_2 .

Un montage électronique simple, intégré à l'amplificateur permet de pallier cet inconvénient. La courbe de réponse de l'appareil est transformée et redressée.

Elle coupe la ligne idéale en trois points : 0,5 %, 10 % et , aux deux points d'écart maximum A et B l'erreur reste très inférieure (0,005 %) à la précision générale de la mesure. Ceci a permis d'étalonner le galvanomètre directement en % de CO_2 , sur une échelle linéaire entre 0 et 10 %.

3 - Puisque la réponse est maintenant linéaire, il suffit d'étalonner l'appareil en deux points. Pour le premier, pas de difficultés. Il suffit de faire passer dans la chambre de mesure un gaz ou un mélange gazeux ne contenant aucune trace de CO_2 . Il s'agit le plus souvent d'air ayant traversé une colonne de chaux sodée. Un petit absorbeur et une sortie spéciale (" CO_2 free air") facilitent ici la manipulation. Pour le second, choisi autant que possible au voisinage des concentrations maxima à enregistrer, un artifice mécanique simple permet de se passer de l'obligation fastidieuse des bouteilles titrées, parfois difficiles à se procurer et devant être soigneusement contrôlées au Scholander à intervalles réguliers. Il s'agit d'une fine lamelle métallique que l'on interpose dans le faisceau de rayons infra-rouges traversant la cellule de mesure alors que celle-ci contient un mélange exempt de toute trace de CO_2 . Un réglage spécial permet de faire correspondre cette absorption artificielle à celle d'un mélange contenant exactement 6 % de CO_2 . La perte de chaleur est détectée par l'ensemble récepteur.

4 - L'appareil se présente sous la forme d'un meuble roulant contenant les contrôles, les éléments de réglage, l'amplificateur, le galvanomètre et une petite pompe à membrane (débit réglable entre 0 et 3 l/min) Une sortie spéciale permet de récupérer les gaz analysés et de les renvoyer éventuellement dans le circuit de mesure. Tous les types d'enregistreurs rapides peuvent être utilisés. L'ensemble de mesure proprement dit est absolument séparé, fixé à une tige support mobile et orientable.

Précautions à prendre

L'appareil est très robuste et celles-ci sont donc peu nombreuses. Néanmoins, nous insisterons particulièrement sur le temps de chauffage préalable, qui doit être d'au moins 45min, et sur le soin à apporter lors de l'étalonnage. Enfin, le réglage du débit de la pompe est primordial. La pompe aspire en permanence, tandis que la respiration est un phénomène alternatif. Le débit doit donc être réglé en fonction de la ventilation du patient et des espaces morts du montage. S'il est trop faible, la durée d'une expiration ne suffit pas pour emplir la cellule de mesure. S'il est trop fort, le volume expiré est aspiré trop rapidement et peut entraîner une certaine quantité d'air parasite. Pour une respiration normale, la "fourchette" de débits est assez simple à déterminer. Dans tous les cas particuliers, il est préférable de se reporter à des courbes calculées (GOPPERT et HENNEBERG - 1956).

L'analyseur de CO_2 va être couplé à un enregistreur monopiste, à papier thermosensible, fournissant un tracé très net et très stable. Plus tard, nous avons pu disposer d'un Physiopolygraphe⁽¹⁾ multipiste, original par sa très large gamme de vitesses et surtout par son procédé d'inscription à l'aide de papier carbone. Le tracé est rectiligne et son prix de revient au mètre assez bas.

IV - LA MESURE DES GAZ DU SANG

pH, P_{O_2} et P_{CO_2} sont mesurés sur sang artériel fémoral. Nous utilisons au moins deux appareils et, lorsque cela est possible, deux techniques différentes. Ainsi par exemple, nos échantillons sanguins ont été analysés :

- par la méthode photolorimétrique de Brinkmann pour la saturation oxyhémoglobinée.

(1) Enregistreur SCHWARZER.

- par la méthode polarographique avec électrode de Lübbers (à agitation) ou électrode de Clark. modifiée pour la P_{O_2} .

(Un nomogramme de Severinghaus permet de passer du P.S.O. à la P_{O_2} et inversement, connaissant le pH et la température).

- par la méthode de Van Slyke pour le CO_2 total.

- par la méthode directe (Severinghaus modifiée) pour la P_{CO_2} .

Nous comparons systématiquement les valeurs déterminées par cette dernière méthode à celles calculées d'après l'équation d'Henderson-Hasselbach.

Enfin, le diagramme de Davenport est un outil extrêmement intéressant pour confronter ces dernières données avec les valeurs de pH lues sur différents appareils.

B - LE PROTOCOLE EXPERIMENTAL

I - METHODE DE TRAVAIL

Il s'agit de créer chez un sujet sain au point de vue cardio-respiratoire une hypercapnie progressive, d'installation relativement lente, intéressant un poulmon. Ainsi nous laissons aux mécanismes d'adaptation et de régulation le temps d'intervenir. Nous considérons cette méthode comme la plus satisfaisante, car l'application brutale d'une hypercapnie unilatérale entraîne des désordres trop importants, dus à l'inaptitude de l'organisme à lutter correctement et totalement contre cette agression. Nous avons à ce jour exploré ainsi tant au laboratoire d'exploration fonctionnelle de l'hôpital Beaujon qu'à celui du Centre hospitalier de Besançon (P. MAGNIN) plus de 50 malades, et aucun n'a gardé de souvenir désagréable de son examen.

Au cours et à la fin de l'épreuve, il faut pouvoir mesurer le volume courant, la ventilation/minute, la consommation d'oxygène, la concentration de CO_2 dans l'air inspiré et l'air expiré, le pH, la P_{O_2} et la P_{CO_2} .

II - REALISATIONS

La presque totalité des examens ont été effectués sur des malades que Monsieur le Professeur LORTAT JACOB a bien voulu nous adresser pour bilan fonctionnel pulmonaire préopératoire. Les interventions pour néoformations de l'oesophage à thorax ouvert nécessitent une "mise au repos" de longue durée du poulmon gauche et la bronchospirométrie peut être considérée comme une exploration systématique chez ces sujets.

a) - Préparation : Elle doit être particulièrement soignée; comprendre un bon dossier clinique et radiologique, mais surtout un examen fonctionnel pulmonaire global très sérieux. Il permet d'éduquer le malade, de vérifier les valeurs

obtenues lors de la bronchospirographie, d'écarter certains patients trop pusillanimes ou trop fatigués.

b) - Prémédication : La veille au soir, on administre un sédatif quelconque de type éthyl-méthyl-butyl barbiturate de sodium.

Quinze minutes environ avant le début de l'épreuve, nous donnons :

Péthidine : 0,5 g

Sulfate d'atropine : 0,5 mg à 1 mg.

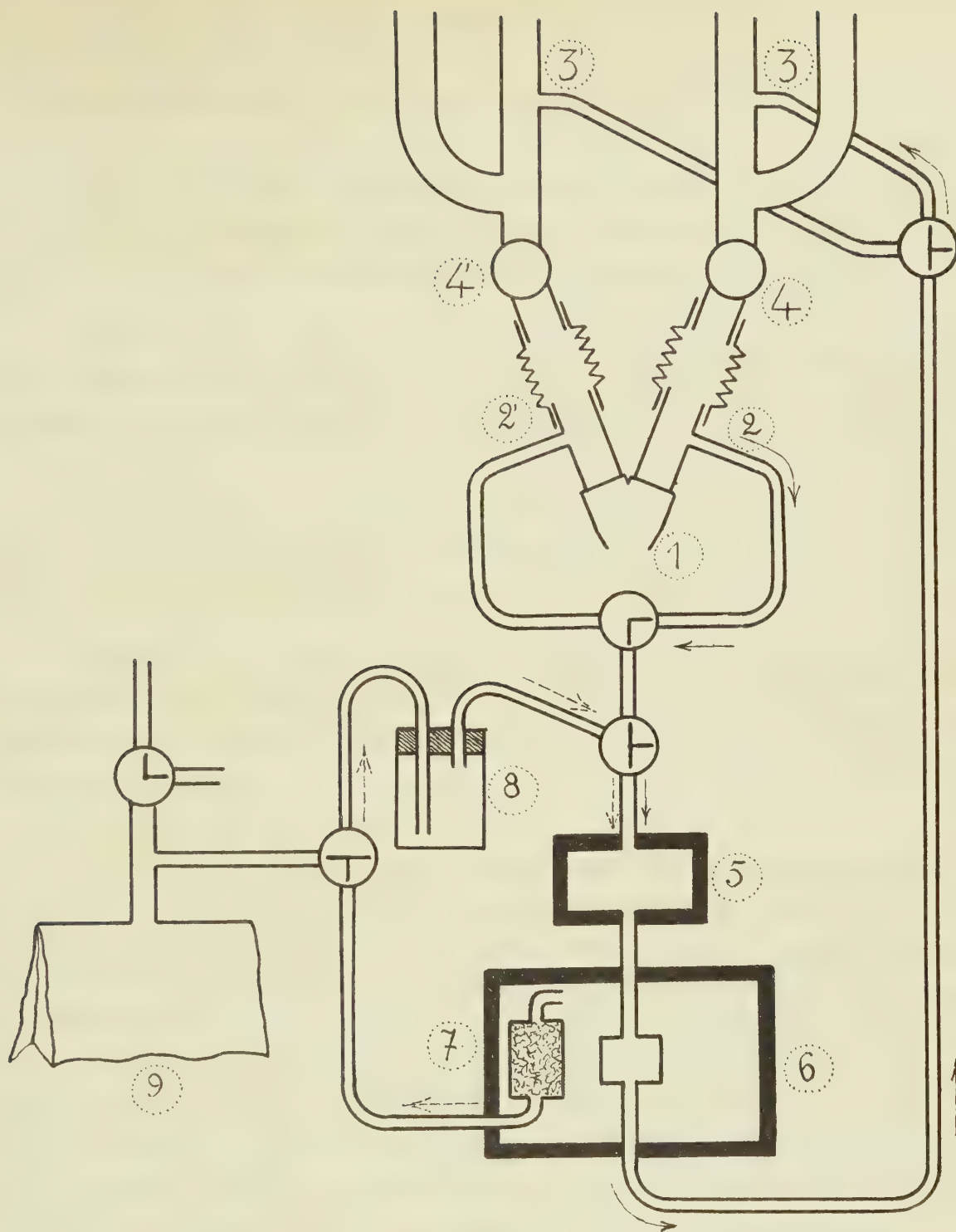
c) - Anesthésie locale : C'est le temps essentiel de l'examen. Celui-ci doit en effet pouvoir durer de 40 minutes à une heure sans toux, ni agitation, ni tentative d'arrachement de sonde, ni hyperventilation. Seule une technique très au point permet d'éviter tous ces écueils. Les modalités ont été parfaitement précisées ailleurs et nous ne nous y attarderons pas.

d) - Mise en place de la sonde : On peut utiliser la technique suédoise classique, avec ou sans fil de soie pour rabattre l'ergot, ou la technique décrite par Bartels et Coll. nécessitant une pince spéciale. Avant d'introduire la sonde, l'étanchéité des ballonnets doit être soigneusement vérifiée. Lorsque la sonde est en place, le malade est maintenu en position semi-assise et les ballonnets sont regonflés.

e) - Montage original : C'est une réalisation personnelle, mise au point depuis 6 ans et qui nous a donné toute satisfaction jusqu'à ce jour.

Un court tube en T, branché à la sortie de chacune des deux canalisations de la sonde de Carlens permet de prélever une partie de l'air inspiré et expiré par chaque poumon. Une petite pompe à membrane, incluse dans l'analyseur, amène l'échantillon dans la cellule de mesure et le renvoie ensuite dans le circuit spirographique correspondant.

Un jeu de robinets étanches, à trois voies, permet d'introduire dans la cellule de mesure : (1) un gaz totalement dépourvu de CO_2 (étalonnage du zéro).



- 1 Sonde de CARLENS
- 2 2' Douilles de prélèvement
- 3 3' Douilles de restitution
- 4 4' Robinets à 2 voies des circuits spirographiques
- 5 Cellule de mesure complète
- 6 Analyseur de CO₂ avec pompe incorporée
- 7 Absorbant de CO₂ (circuit d'étalonnage du zéro)
- 8 Flacon intermédiaire
- 9 Sac de DOUGLAS

(2) l'air ventilé par le poulmon gauche ou le poulmon droit.

Une solide potence maintient la cellule de mesure à proximité immédiate de l'extrémité de la sonde. L'espace mort entre les robinets à deux voies du spiropgraphe et l'entrée dans la sonde de Carlens doit être réduit au minimum.

Pendant quelque temps nous avons pu disposer de deux analyseurs de CO_2 . Reliés à un enregistreur multipliste, ils nous ont permis de vérifier simultanément l'exactitude de résultats que nous n'avions pu jusque là obtenir que successivement.

Il est certain que ce montage est améliorable et qu'un petit pupitre à interrupteur commandant des vannes électromagnétiques remplacerait avantageusement la manipulation des nombreux robinets à trois voies.

Ici nous devons faire une remarque importante. Dans des conditions normales la mesure de la consommation d'oxygène à l'aide du tracé spiropgraphique, qu'il y ait compensation automatique, manuelle, ou qu'il n'y ait pas de compensation du tout, ne pose aucun problème.

Il n'en va pas de même lors d'une épreuve d'hypercapnie progressive. Le CO_2 éliminé par le poulmon n'est plus absorbé par de la chaux sodée et la pente du tracé exprime seulement la différence entre le volume d'oxygène consommé et le volume de CO_2 rejeté. Elle est d'autant plus faible que le quotient respiratoire est plus élevé. Si l'on n'y prend pas garde, on développe ainsi une anoxie parallèle. Il convient donc soit de rajouter un peu d'oxygène pur dans le circuit d'hypercapnie à intervalles réguliers, soit de déterminer la consommation d' O_2 du poulmon gauche avant l'hypercapnie et de régler la compensation automatique ou manuelle en conséquence. Dans ces conditions, le tracé aura toutes les chances de présenter une allure descendante, témoin de l'augmentation progressive du volume total du circuit.

f) - Les prélèvements de sang artériel ont été effectués avant l'épreuve et à la fin de celle-ci.

CHAPITRE IV

RESULTATS

L'étude préliminaire que nous présentons ici porte sur douze cas. Nous avons séparé les huit sujets normaux des quatre présentant des antécédents pulmonaires divers. Trois de ces derniers malades, particulièrement coopérants, ont subi des épreuves d'hypercapnie gauche et droite, voire même globales. Nous reviendrons plus longuement sur ces observations très intéressantes.

Précisons que, depuis, ce type d'examen a été réalisé sur de nombreux autres malades, tant à l'hôpital BEAUJON qu'au centre hospitalier de BESANCON et que les résultats ont confirmé les conclusions tirées de cette première série.

Les valeurs figurant dans les tableaux suivants sont exprimées en :

millilitres pour les volumes pulmonaires

millimètres de Hg pour P_{O_2} et P_{CO_2}

% pour Sa_{O_2}

N° 1

HAN... Louis, 59 ans, manoeuvre.

Dysphagie minime, mais persistante depuis un an.

Oesophagoscopie : Sténose bourgeonnante à 25 cm. Bronchoscopie : légère voussure au niveau de la bifurcation trachéale.

L'examen fonctionnel respiratoire global indique une fonction ventilatoire satisfaisante.

Les gaz du sang artériel sont normaux.

La bronchopiométrie montre une excellente répartition de la fonction ventilatoire.

Une épreuve d'hypercapnie gauche est parfaitement supportée par le malade pendant 24 minutes. La compensation par le poumon droit s'est révélée très satisfaisante.

Examen global :	CV_T : 3 800		VMI_T : 84 l/min
	CV_O : 4 300	$VEMS$: 2 950	VMI_O : 88,5 l/min
		% : 68,5	

Gaz du sang au repos, à l'air :

P.S.O : 92,5	P_{O_2} : /	pH : 7,39
CO_2 total : 50	P_{CO_2} : 37	

BRONCHOSPIROMETRIE

EPREUVES VENTILATOIRES

1 - Conditions normales

	P. Droit	P. Gauche	Total
V. courant	185	200	385
Ventilation	3 150	3 400	6 550
Consommation O ₂	145	120	265
E.R. _{O2}	22	28	24,5
C.V.	2.100	2.100	4.200
F _{ECO2}	4,8	4,8	

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche

V. courant	390	420	
Ventilation	7 250	6 750	13.000
Consommation O ₂	170		
E.R. _{O2}	37	67,5	48
F _{ECO2}		6,8	

Gaz du sang

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	92,5	96
pH	7,37	7,36
P _{CO2}	41,5	38
P _{O2}	109	93

N° 2 -

LEN... Jean, 52 ans. Facteur. Carcinome épidermoïde oesophage.

Depuis 6 mois, dysphagie aux solides. Pas de douleurs. Oesophago : sténose bourgeonnante serrée 1/3 supérieur - Compression trachéale droite.

Examen fonctionnel global : Fonction ventilatoire satisfaisante.

Examen bronchospirographique des poumons séparés : résultats parfaitement normaux.

Une épreuve d'hypercapnie unilatérale gauche a été très bien supportée par le malade pendant 25 minutes.

Examen global :	CV_T : 3 800		VMI_T : 85 l/min
	CV_0 : 3 500	$VEMS$: 2 700	VMI_0 : 81 l/min
		% : 77	

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	265	210	475
Ventilation	5 550	4 400	9 950
Consommation O ₂	155	130	285
E.R. O ₂	36	34	35
C.V.	1 900	1 500	3 400
F _{ECO2}	4,5	4,5	

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche

V. courant	420	360	780
Ventilation	9 500	8 100	17 600
Consommation O ₂	185		
E.R. O ₂	51		
F _{ECO2}		6	

Gaz du sang

	Avant 1 ^{re} épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	90	N
pH	7,39	O
P _{CO2}	36,5	N
P _{O2}	96,5	M
		E
		SURES

N° 3 -

BOS... Joseph, 57 ans. Epithelioma épidermoïde différencié oesophagien.

Dysphagie récente (3 mois) s'étendant à toute la gamme alimentaire et aux liquides. Oesophago: Sténose bourgeonnante à 25 cm.

Fonction ventilatoire globale satisfaisante, malgré une discrète réduction de la C.V.

Gaz du sang au repos sensiblement normaux.

Examen bronchospirographique des poumons séparés : résultats à la limite de la normale.

L'épreuve d'hypercapnie gauche a été parfaitement supportée par le malade pendant 17 minutes. La compensation par le champ droit a été très satisfaisante.

Examen global :	CV_T : 3 400		VMI_T : 76,5 l/min
	CV_0 : 3 100	$VEMS$: 2 600	VMI_0 : 78 l/min
		% : 83,5	

Gaz du sang au repos, à l'air :

P.S.O. : 94,5	PO_2 : /	pH : 7,43
CO_2 total : 50	P_{CO_2} : 34	

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales

	P. Droit	P. gauche	Total
V. courant	180	210	390
Ventilation/min	2 900	3 350	6 250
Consommation O ₂	125	175	300
E.R.O ₂	23	19	21
C.V.	1 400	1 300	2 700

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche

V. courant	405	450	855
Ventilation/min	7 050	7 900	14 950
Consommation O ₂	185		
E.R.O ₂	38		

Gaz du sang

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	89,5	90,5
pH	7,48	7,44
P _{CO2}	35	34
P _{O2}	66	89

N° 4 -

MAR... Paul; 58 ans. Imprimeur. Hernie hiatale.

Dysphagie progressive chez un malade présentant un myosis depuis 2 ans.
Sténose importante 1/2 inférieur de l'oesophage.

Fonction ventilatoire globale assez satisfaisante, malgré une très discrète diminution de la C.V.

Examen bronchospirographique des poumons : répartition satisfaisante de la fonction pulmonaire.

L'épreuve d'hypercapnie gauche a été parfaitement supportée pendant 20 minutes.

Examen global :	CV_T : 3 500		VMI_T : 78 l/min
	CV_0 : 3 100	$VEMS$: 2 600	VMI_0 : 76,5 l/min
		% : 83	

Gaz du sang au repos, à l'air :

P.S.O. : 93,5	P_{O_2} : 94	pH : 7,43
CO ₂ total : 60	P_{CO_2} : 40	

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales :

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	170	185	355
Ventilation/min.	3 050	3 300	6 350
Consommation O ₂	115	115	230
E.R.O ₂	26,5	28,5	27,5
C.V.	1 250	1 200	2 450
F _{EC02}	4,8	4,8	

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche

V. courant	350	360	710
Ventilation/min.	6 100	6 300	12 400
Consommation O ₂	145		
E.R.O ₂	42		
F _{EC02}	4,4	7	

Gaz du sang

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	95	95,5
pH	7,39	7,38
P _{C02}	44	38,5
P _{O2}	97	

n° 5 -

DER... Jacques. 51 ans. Démonstrateur. Carcinome épidermoïde de l'oesophage.

Dysphagie intermittente depuis 3 mois. Maladie de Basedow depuis 1959, actuellement stabilisée.

Fonction ventilatoire globale satisfaisante, malgré une diminution légère de la C.V.

Gaz du sang artériel au repos, à l'air : légère hypoxémie (P_{O_2} : 83 mm Hg P.S.O. : 89 %) normocapnique.

Examen bronchospirographique des poumons séparés : répartition assez satisfaisante.

L'épreuve d'hypercapnie progressive unilatérale gauche a été assez bien supportée pendant 15 min. A la suite, une quinte de toux provoquée, par l'effort consécutif, une petite acidose avec hyperventilation.

Ceci, associé à l'hypoxémie au repos, doit attirer l'attention de l'anesthésiste.

Examen global :

CV_T : 3 700

CV_0 : 2 800

VEMS : 2 400

% : 82,5

VMI_T : 83,5 l/min

VMI_0 : 72 l/min

Gaz du sang au repos, à l'air :

P.S.O. : 89

CO_2 Total : 49

PO_2 : 83

P_{CO_2} : 34,5

pH : 7,42

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	140	150	290
Ventilation/min.	3 100	3 300	6 400
Consommation O ₂	105	100	205
E.R. O ₂	29,5	33	31
C.V.	non mesurable : réactions tussigènes		
F _E CO ₂	5	5,6	

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche (fin épreuve après quinte de toux)

V. courant	300	360	660
Ventilation/min	7 250	8 800	16 050
Consommation O ₂	150		
E.R. O ₂	48,5		
F _E CO ₂	4,3	5,2	

Gaz du sang

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	92,5	91,5
pH	7,38	7,36
P _{CO2}	36	42
P _{O2}	79	77,5

N° 6 -

ROB... Edouard. 55 ans; Néof ormation de l'oesophage.

Depuis 7-8 mois, dysphagie progressive avec douleurs rétrosternales.
Oesophagoscopie ; Sténose bourgeonnante à 27 cm.

Bronchoscopie : petite voussure paroi postérieure de la bronche souche gauche.

Fonction ventilatoire globale parfaitement satisfaisante.

Examen bronchospirographique : répartition satisfaisante des divers critères.

L'épreuve d'hypercapnie gauche a été très bien supportée pendant 20 minutes.

Examen global :

CV_T : 3 700

CV_O : 4 100

VEMS : 3 600

% : 86 %

VMI_T : 82 l/min

VMI_O : 108 l/min

Bronchospirométrie

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales

	P. Droit	P. gauche	Total
V. courant	155	150	305
Ventilation/min	2 650	2 550	5 200
Consommation O ₂	125	125	250
E.R. O ₂	21,5	21	21,5
C.V.	/	/	/
F _{ECO2}	/	/	/

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche (fin d'épreuve)

V. courant	255	280	545
Ventilation/min	5 350	6 050	11 400
Consommation O ₂	175	/	/
E.R. O ₂	31	/	/
F _{ECO2}	/	/	/

Gaz du sang

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	94,5	94,5
pH	7,39	7,38
P _{CO2}	42	43
P _{O2}	92	93

N° 7 -

DAN... Arthur. 60 ans. Manoeuvre . Néof ormation oesophagienne. Dysphagie aux solides depuis cinq mois. Douleur "en barre" rétro-sternale. Oesophagoscopie : sténose bourgeonnante à 28 cm. Bronchoscopie : Compression de la bronche souche gauche.

Fonction ventilatoire globale satisfaisante d'après les examens pratiqués.

Gaz du sang artériel au repos : normaux.

Examen bronchospirographique des poumons séparés : répartition sensiblement normale des divers critères fonctionnels. L'épreuve d'hypercapnie unilatérale gauche de 15 minutes a montré une compensation imparfaite droite, avec discrète acidose respiratoire.

Examen global :

CV_T : 3 400

CV_0 : 3 100

VEMS : 2 500

% : 85

VMI_T : 73 l/min

VMI_0 : 75 l/min

Gaz du sang artériel au repos, à l'air :

P.S.O. : 93,5

CO₂ total : 54

P_{O2} : /

P_{CO2} : 35

pH : 7,45

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires :

1 - Conditions normales

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	150	150	300
Ventilation/min.	3 300	3 300	6 600
Consommation O ₂	120	100	220
E.R. O ₂	27,5	33,5	30
C.V.			
F _{ECO2}	4,7	4,8	

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche (fin d'épreuve)

V. courant	290	290	580
Ventilation/min	4 950	4 950	9 900
Consommation O ₂	130		
E.R. O ₂	38		
F _{ECO2}	4,2	6,7	

Gaz du sang :

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	94	94
pH	7,39	7,37
P _{CO2}	34,5	37,5
P _{O2}	/	/

N° 8 -

DUP...Robert, 55 ans. Maçon. Néoformation (?) de l'oesophage.

Dysphagie depuis 5 mois aux aliments solides et pâteux. Gêne intermittente
Pesanteur rétrosternale. Oesophago-bronchoscopie et biopsie n'apportent pas d'élé-
ments probants.

Fonction ventilatoire globale satisfaisante.

Gaz du sang au repos : normaux.

La bronchospirographie montre une répartition normale des divers critères
fonctionnels.

L'épreuve d'hypercapnie progressive gauche a été parfaitement supportée
par le malade pendant 17 minutes. La compensation par le champ droit fut satisfai-
sante.

Examen global :

CV_T : 3 500

CV_0 : 3 950

VEMS : 3 300

% : 83

VMI_T : 78 l/min

VMI_0 : 99 l/min

Gaz du sang artériel au repos, à l'air :

P.S.O. : 94

P_{O_2} : 106

pH : 7,44

CO_2 total : 55

P_{CO_2} : 36

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	180	160	340
Ventilation/min.	2 700	2 400	5 100
Consommation O ₂	120	115	235
E.R. O ₂	22,5	21	21,5
C.V.	1 700	1 650	3 350
F _{EC02}	4,7	5	

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche (avant la fin)

V. courant	340	300	640
Ventilation/min	5 100	4 500	9 600
Consommation O ₂	160		
E.R. O ₂	31,8		
F _{EC02}	4,7	6,8	

Gaz du sang

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	90	93,5
pH	7,42	7,40
P _{C02}	35,5	36
P _{O2}	65	73

N° 9 -

PER... Joseph, 68 ans. Chaudronnier. Carcinome malpighien de l'oesophage.

Dysphagie depuis plusieurs mois. Oesophago : Sténose bourgeonnante à 27 cm. Bronchoscopie : R.A.S.

Léger trouble de la fonction ventilatoire. Diminution d'environ 25 % des possibilités dynamiques, par suite d'une réduction du Rapport VEMS $\times$ 100/CV.
La CV est normale.

L'examen bronchospirographique des poumons séparés ne traduit pas d'anomalies fondamentales.

L'épreuve d'hypercapnie gauche a été bien supportée pendant 15 minutes.

Examen global :

CV_T : 3 500

CV_O : 5 200

VEMS : 2 000

% : 40

VMI_T : 77 l/min

VMI_O : 60 l/min

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	180	210	390
Ventilation/min	2 900	3 350	6 250
Consommation O ₂	115	130	245.
E.R. O ₂	25,5	26	25,5
C.V.	non mesurable : réactions tussigènes		
F _{EC02}	4,2	4,8	

2 - Epreuve d'hypercapnie gauche

V courant	390	360	750
Ventilation/min	6 650	5 950	12 600
Consommation O ₂	185		
E.R. O ₂	36		
F _{EC02}	4	6,9	

Gaz du sang

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	94 .	93,5
pH	7,42	7,38
P _{C02}	37,5	40
P _{O2}	88	84

N° 10 -

MEZ... Hocine. 27 ans. Sans profession. Tuberculose pulmonaire évoluant depuis 1958. Thoracoplastie droite (5 côtes) en Janvier 1964 et exérèse partielle du lobe supérieur. Grosses cavités résiduelles. Pneumonectomie envisagée.

Examen fonctionnel global : Trouble important (55 %) de la fonction ventilatoire, par réduction de la CV et du rapport $VEMS \times 100/C.V.$

Gaz du sang au repos : résultats sensiblement normaux.

La bronchspirométrie confirme la nette amputation des critères ventilatoires à droite.

L'épreuve d'hypercapnie droite est très bien supportée par le malade, avec complète compensation gauche.

Nota : Chez ce malade et chez les suivants, nous avons pu, grâce à leur très grande coopération, pratiquer des épreuves d'hypercapnie progressive d'un côté, puis de l'autre. Nous reviendrons plus loin sur ces observations.

Examen global :

CV_T : 4 500

VMI_T : 108

CV_0 : 3 100

$VEMS$: 1 650

VMI_0 : 49,5

% : 53

Gaz du sang artériel :

P.S.O. : 95

P_{O_2} :

pH : 7,45

C_{O_2} total : 53

P_{CO_2} : 34,5

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires :

1 - Conditions normales :

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	110	260	370
Ventilation/min	2 750	6 500	9 250
Consommation O ₂	80.	220	300
E.R. O ₂	34,5	29,5	32
C.V.	550.	1 800	2 350
F _{EC02}	4,4	4,6	

2 - Epreuve d'hypercapnie droite (fin d'épreuve)

V. courant	140	320	460
Ventilation/min	3 350	7 700	11 050
Consommation O ₂		260.	
E.R. O ₂		29,5	
F _{EC02}		4,4	

Gaz du sang

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	96.	93,5
pH	7,41	7,41
P _{CO2}	40	38,5
P _{O2}	100	85

N° 11 -

AUP... André, 63 ans, Retraité. Image thoracique droite anormale persistant après traitement d'épreuve antibiotique. Bronchoscopie : sténose incomplète de l'orifice lobaire supérieur droit. Néoformation probable. Intervention exploratrice projetée.

L'examen fonctionnel global montre un trouble assez important (Amputation des possibilités d'environ 40 %) consécutif à une diminution de la C.V. et du rapport $VEMS \times 100/C.V.$

Les gaz du sang au repos sont sensiblement normaux.

La bronchospirométrie montre une répartition assez satisfaisante des critères ventilatoires.

Une épreuve d'hypercapnie droite est très bien supportée par le malade.

Examen global :

CV_T : 3 600

CV_O : 2 650

VEMS : 1 700

% : 64

VMI_T : 81 l/min

VMI_O : 51 l/min

Gaz du sang artériel :

P.S.O. : 94

P_{O_2} :

pH : 7,48

C_{O_2} total : 58

P_{CO_2} : 35,5

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	270	300	570
Ventilation/min.	4 850	5 400	10 250
Consommation O ₂	145	135	280
E.R. O ₂	33,5	40	36,5
C.V.	non mesurée		
F _{EC02}	4,3	5,1	

2 - Epreuve d'hypercapnie droite :

V. courant	390	480	870
Ventilation/min	7 800	9 600	17 400
Consommation O ₂	/	270	/
E.R. O ₂	/	35,5	/
F _{EC02}	6,2		

Gaz du sang :

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	89.	88,5
pH	7,44	7,42
P _{C02}	31,5	34
P _{O2}	60	64

N° 12 -

B... André. 52 ans. Néofornation du 1/3 moyen de l'oesophage chez un malade ayant déjà subi une thoracoplastie droite (6 côtes) pour tuberculose pulmonaire résistante aux antibiotiques.

L'examen global montre une importante amputation des possibilités ventilatoires (environ 50 %), due surtout à une diminution de la C.V.

Les gaz du sang au repos montrent une hypoxémie normocapnique.

La bronchspirométrie permet de vérifier que la fonction pulmonaire n'est pas répartie de façon égale à gauche et à droite.

Une épreuve d'hypercapnie progressive droite a été bien supportée par le malade pendant 18 minutes.

Examen global :

CV_T : 3 900

CV_O : 2 300

VEMS : 1 400

% : 60

VMI_T : 87 l/min

VMI_O : 42 l/min

Gaz du sang au repos, à l'air :

P.S.O. : 90 %

C_{O_2} total : 60 vol %

P_{O_2} : 61 mm Hg

P_{CO_2} : 41,5 mm Hg

pH : 7,42

BRONCHOSPIROMETRIE

Epreuves ventilatoires

1 - Conditions normales

	P. droit	P. gauche	Total
V. courant	150	255	405
Ventilation/min	2 100	3 700	5 800
Consommation O ₂	70	170	240
E.R. O ₂	30	21,5	26
C.V.	850	1 300	2 150
F _{ECO2}	4,6	5,7	

2 - Epreuve d'hypercapnie droite (fin d'épreuve)

V. courant	240	420	660
Ventilation/min	3 700	6 500	10 200
Consommation O ₂		180	
E.R. O ₂		36	
F _{ECO2}	6,5	5,5	

Gaz du sang :

	Avant l'épreuve	Fin d'épreuve
P.S.O.	84	85
pH	7,41	7,40
P _{CO2}	42	40,5
P _{O2}	55	53

Divers tableaux et graphiques récapitulent maintenant les résultats obtenus.

1°) Pour la ventilation, nous avons retenu comme critères :

$$\dot{V} - \dot{V}_{O_2} - E \cdot R \cdot O_2 - F_E CO_2$$

Chaque critère est représenté par deux valeurs :

AVANT : de la 5ème à la 9ème minute de la bronchospirographie standard.

APRES : de la 5ème minute précédant la fin de l'examen jusqu'à la fin de ce dernier.

Nous avons représenté les valeurs du poumon droit sur une ligne, les valeurs du poumon gauche sur la ligne sous-jacente.

2°) Pour les gaz du sang, nous avons retenu comme critères :

$$Sa_{O_2} - P_{O_2} - pH - P_{CO_2}$$

Chacun est représenté par deux valeurs :

- dans les minutes précédant le début de l'hypercapnie, la sonde étant en place et le malade étant "branché" sur l'appareil.
- En fin d'épreuve d'hypercapnie progressive.

L'hyperventilation des deux poumons est évidente. Les valeurs mesurées en fin d'épreuve sont doubles des valeurs initiales.

La ponction artérielle terminale du second malade n'ayant pu être pratiquée, le tableau récapitulatif des gaz du sang ne comporte que onze cas.

	N ^{os}	$\dot{V}_{(ml/min.)}$		$\dot{V}O_2(ml/min.)$		E.R. O ₂		FE CO ₂	
		AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
D	¹	3150	6250	145	170	22	37	4, 8	
G	5477	3400	6750	120	—	28	—	4, 8	6, 8
D	²	5550	9500	155	185	36	51	4, 5	
G	5499	4400	8100	130	—	34	—	4, 5	6
D	³	2900	7050	125	185	23	38	—	—
G	5529	3350	7900	175	—	19	—	—	—
D	⁴	3050	6100	115	145	26, 5	42	4, 8	4, 4
G	5669	3300	6300	115	—	28, 5	—	4, 8	7
D	⁵	3100	7250	105	150	29, 5	48, 5	5	4, 3
G	5765	3300	8800	100	—	33	—	5, 6	8
D	⁶	2650	5350	125	175	21, 5	31	—	—
G	5769	2550	6050	125	—	21,	—	—	—
D	⁷	3300	4950	120	130	27, 5	38	4, 7	4, 2
G	5828	3300	4950	100	—	33, 5	—	4, 8	6, 7
D	⁸	2700	5100	120	160	21, 6	31, 8	4, 7	4, 7
G	5830	2400	4500	115	—	21	—	5	6, 8
D	⁹	2900	6650	115	185	25, 5	36	4, 2	4
G	5718	3350	5950	130	—	26	—	4, 8	6, 9
D	¹⁰	2750	3350	80	—	34, 5	—	4, 4	—
G	5938	6500	7700	220	260	29, 5	29, 5	4, 6	5, 6
D	¹¹	4850	7800	145	—	33, 5	—	4, 3	6, 2
G	5852	5400	9600	135	270	40	35, 5	5, 1	—
D	¹²	2100	3700	70	—	30	—	4, 6	6, 5
G	5816	3700	6500	170	180	21, 5	36	5, 7	5, 5

TABLEAU RÉCAPITULATIF GAZ DU SANG

Sujets normaux - *Hypercapnies gauches*

		Sa O ₂	P O ₂	pH	P CO ₂
1 HAM...	Avant l'épreuve	95	89	7,37	39,5
	En fin d'épreuve	96	93	7,36	38
3 BOS...	Avant	87,5	70	7,47	33,5
	Fin	90,5	89	7,44	34
4 MAR...	Avant	95	100	7,39	38,5
	Fin	95,5	—	7,38	38,5
5 DER...	Avant	92,5	79	7,38	36
	Fin	91,5	77,5	7,36	42 ^x
6 ROB...	Avant	94,5	92	7,39	42
	Fin	94,5	93	7,38	43 ^x
7 DAM...	Avant	94	—	7,39	34,5
	Fin	94	—	7,37	37,5
8 DUP...	Avant	90	65	7,42	35,5
	Fin	93,5	73	7,40	36

^x Toux au moment du prélèvement artériel.

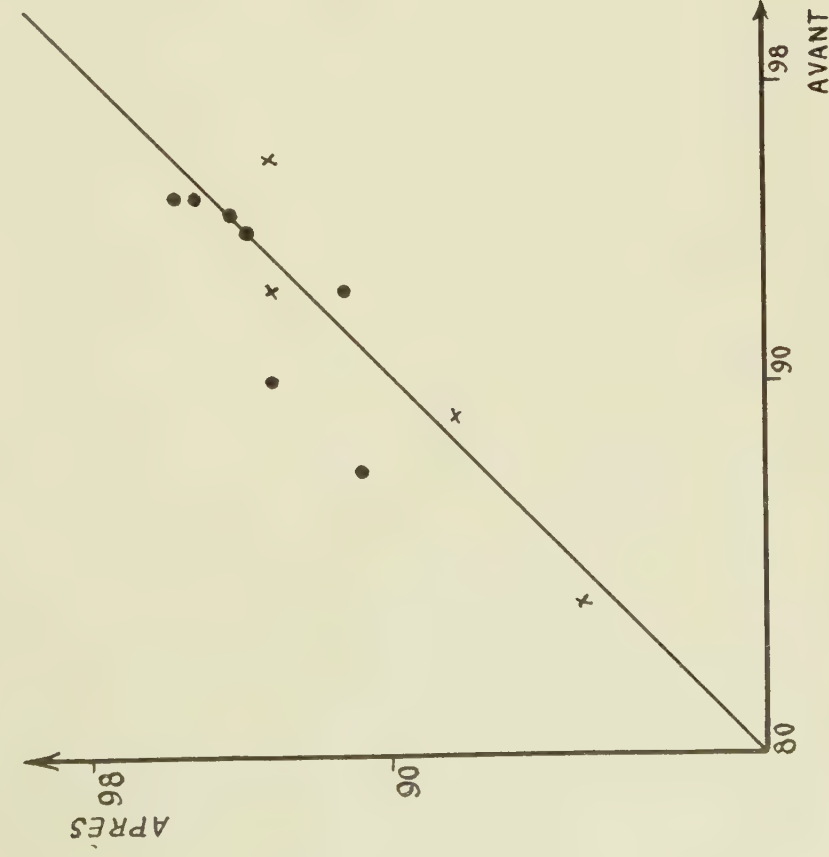
Sujets pathologiques - *Hypercarnies gauches*

		Sa O ₂	P O ₂	pH	P CO ₂
9	Avant l'épreuve	92,5	84	7,45	36,5
	En fin d'épreuve	93,5	84	7,38	40
10	Avant	96	100	7,41	40
	Fin	93,5	85	7,41	38,5
11	Avant	89	60	7,44	31,5
	Fin	88,5	64	7,42	34
12	Avant	84	55	7,41	42
	Fin	85	53	7,40	40,5

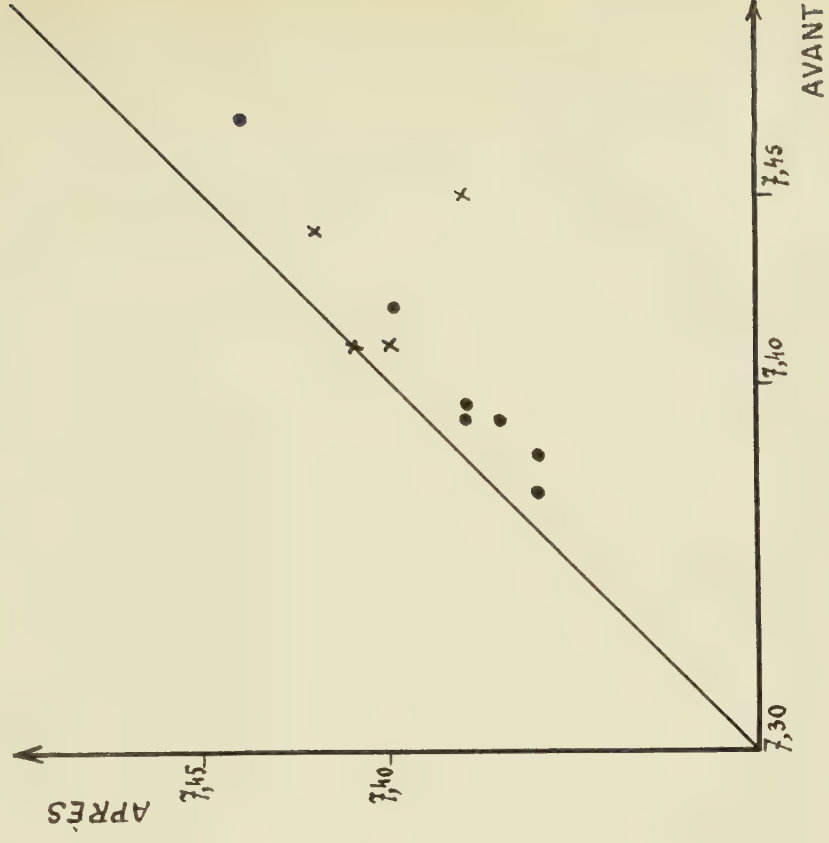
POURCENTAGES DE SATURATION OXYHEMOGLOBINÉE ET pH AVANT ET EN FIN D'ÉPREUVE

x Sujets pathologiques

• Sujets normaux



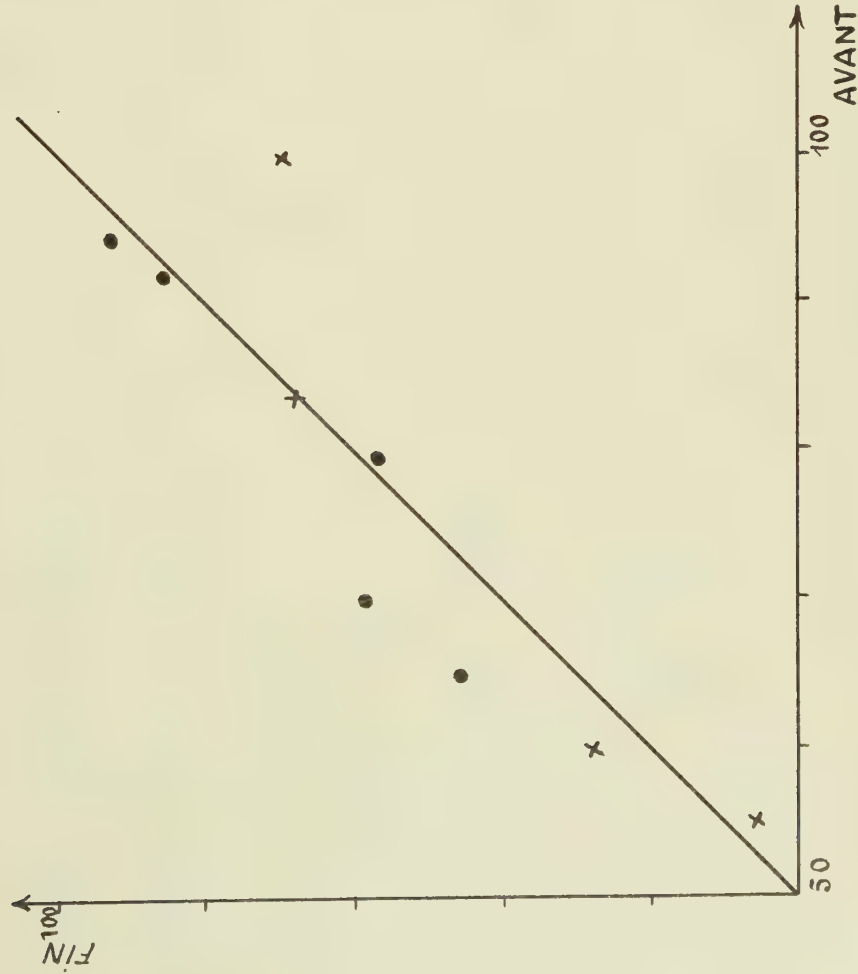
P.5.0



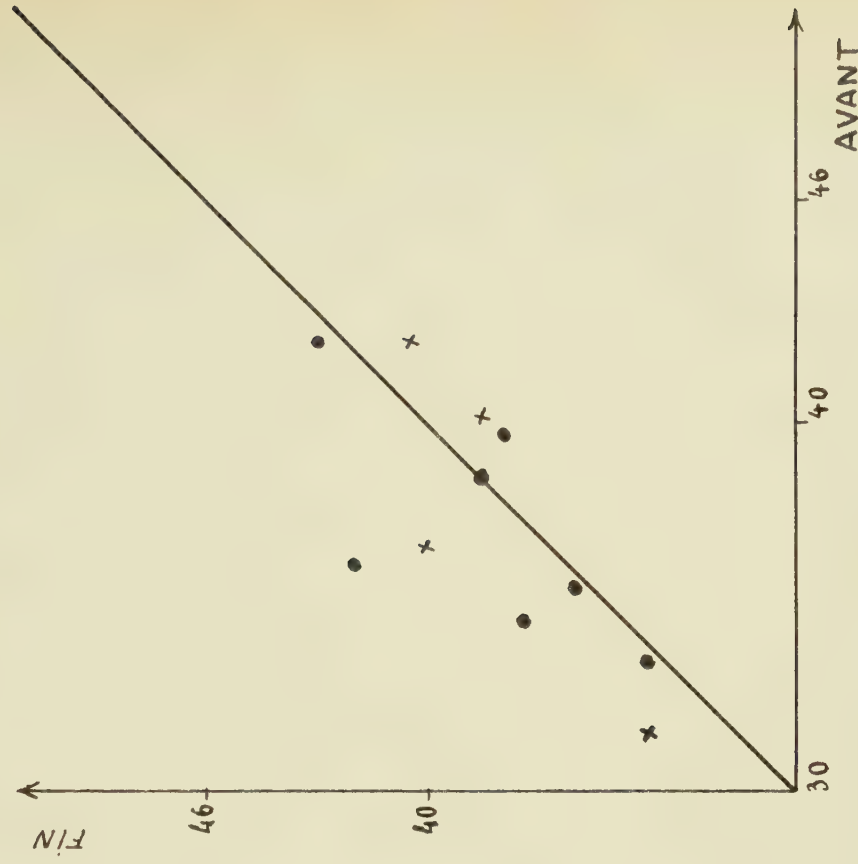
pH

PO_2 ET PCO_2 AVANT ET EN FIN D'ÉPREUVE

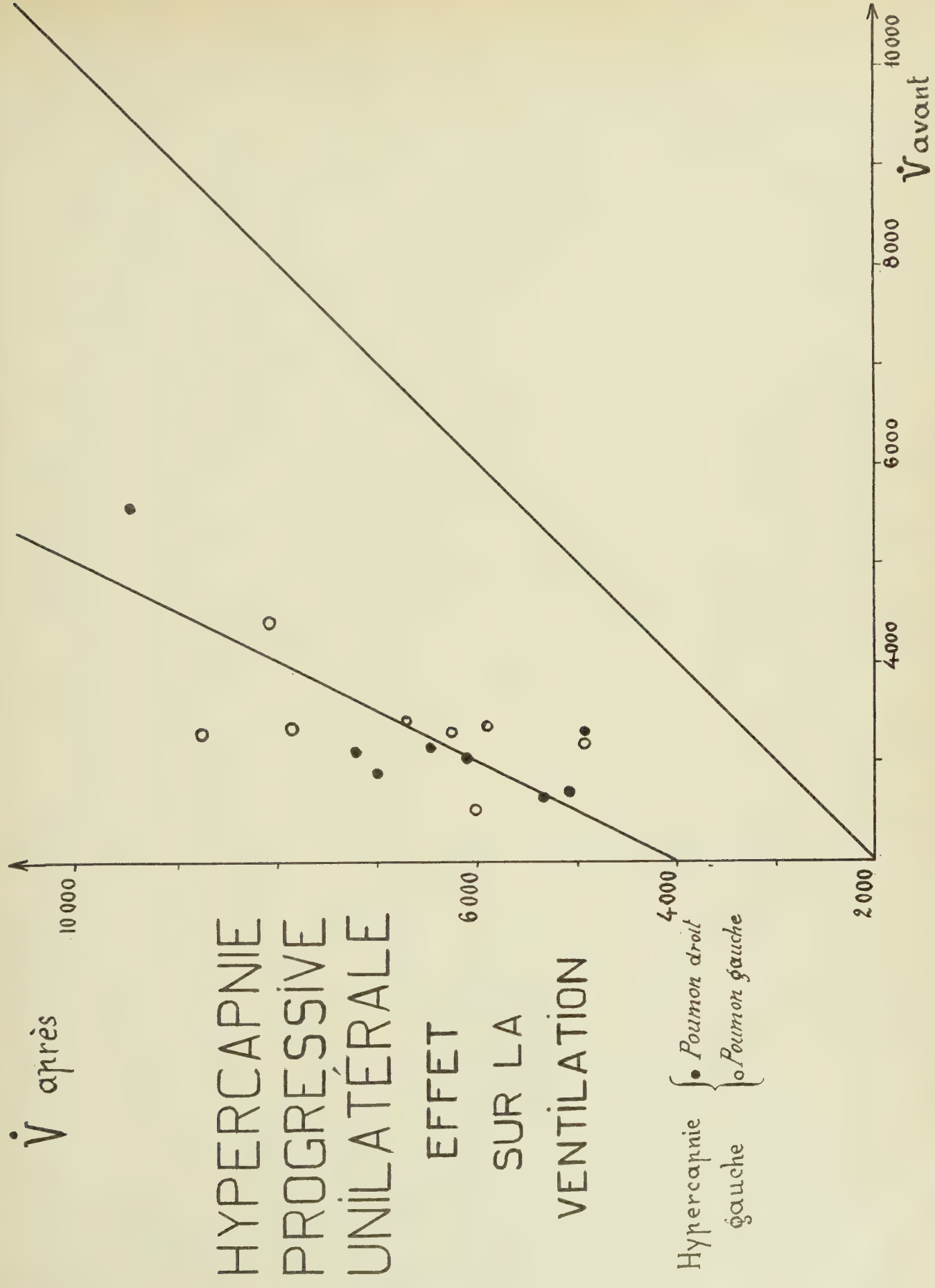
• Sujets normaux
 x Sujets pathologiques



PO_2



PCO_2

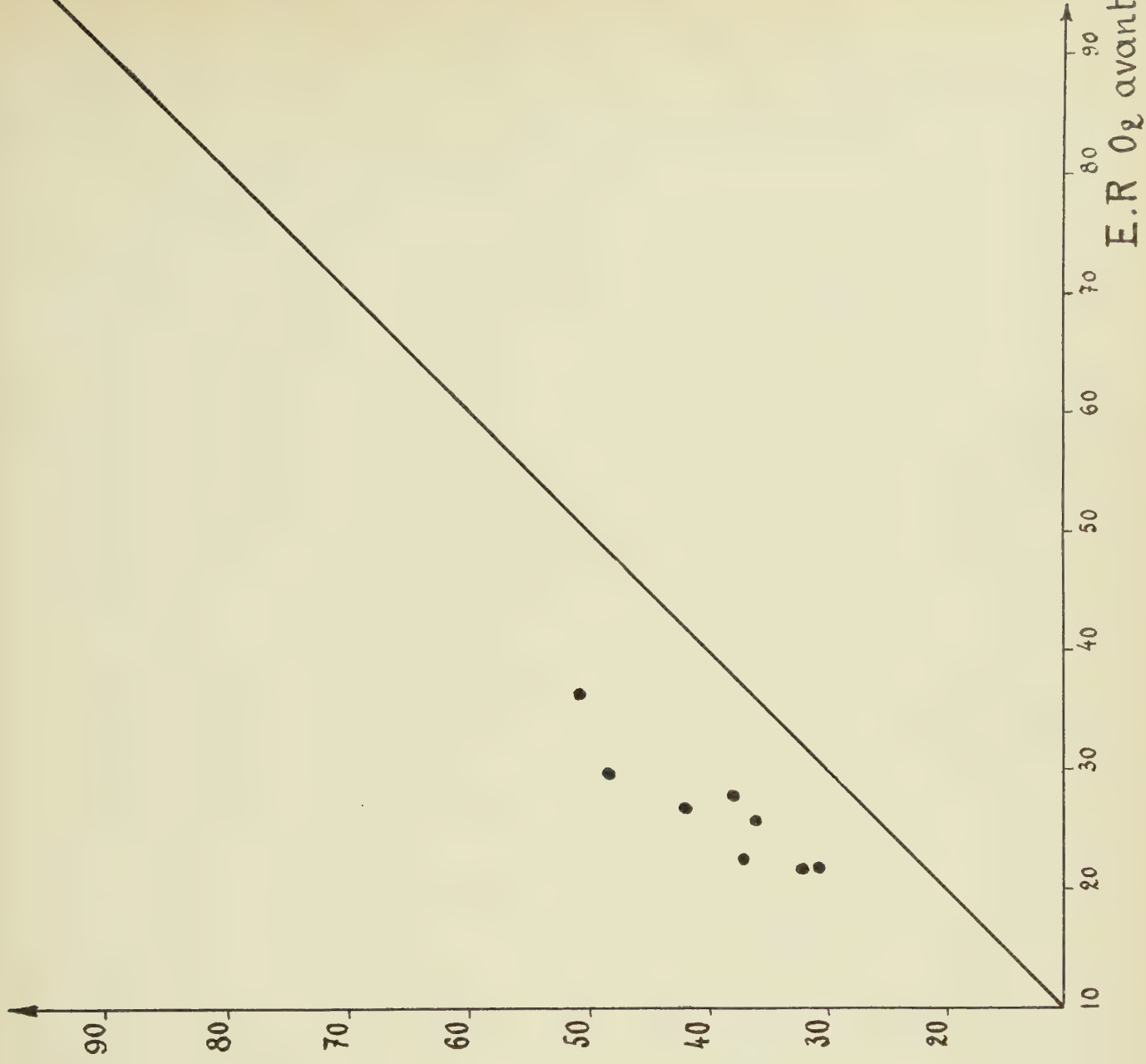


E.R O_2 après

EFFET
SUR L'E.R O_2

Hypercapnie gauche:

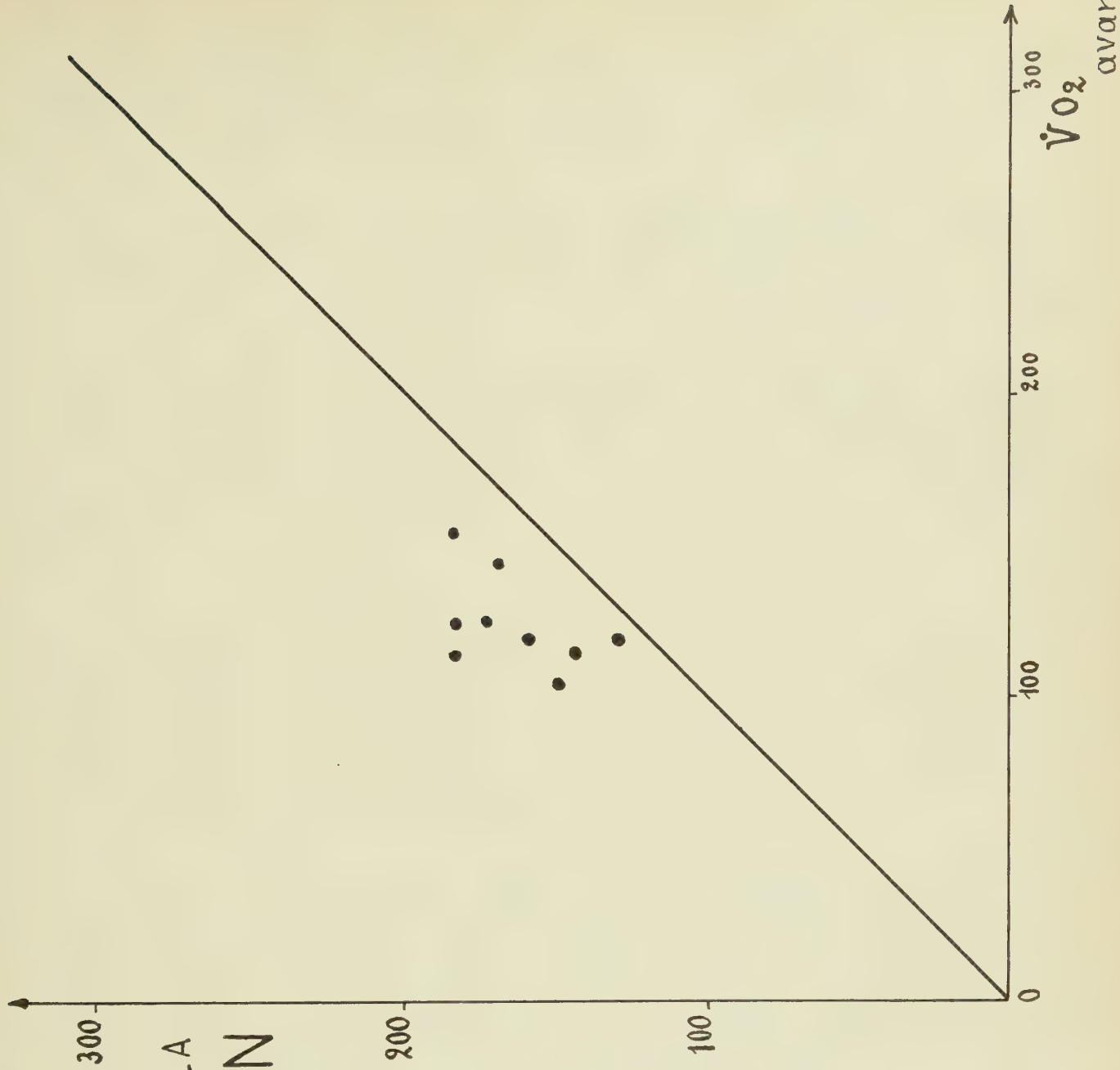
• Poumon droit



$\dot{V}O_2$ après

EFFET SUR LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE

Hypercapnie gauche:
• Poumon D



Nous allons nous attarder maintenant sur deux observations particulièrement complètes et intéressantes, les Nos 11 et 12, parfaitement opposables quant aux résultats d'épreuves d'hypercapnie gauche et droite successives.

1°) AUP... André, présentant une néoformation droite avec sténose partielle lobaire supérieure à un trouble ventilatoire global important (40 %); par diminutions de la C.V. et du rapport $V.E.M.S. \times 100 / C.V.$ des gaz du sang au repos sont normaux.

On pratique une bronchospirographie des poumons séparés, qui montre une répartition à peu près égale de la ventilation. Le malade est ensuite soumis à deux épreuves successives d'hypercapnie - Les résultats en sont consignés dans le tableau ci-contre. Dans les deux cas la compensation par l'autre poumon est satisfaisante.

2°) B... André a subi en 1961 une thoracoplastie de 6 côtes pour tuberculose pulmonaire. Porteur d'une néoformation du 1/3 moyen de l'oesophage; l'intervention est envisagée. L'examen ventilatoire global a montré une amputation importante (environ 50 %) de ses possibilités ventilatoires. La bronchospironétrie met en évidence l'importance de l'insuffisance ventilatoire droite.

L'épreuve d'hypercapnie progressive unilatérale droite est parfaitement supportée par le malade. Les paramètres ventilatoires et hémorespiratoires ne sont pas modifiés de façon significative. La ventilation augmente parallèlement dans les deux poumons et sa valeur globale est presque doublée. Le capnogramme montre l'atteinte du plateau à 6,6 % de CO_2 dans l'air expiré. On arrête l'épreuve lorsque l'on atteint 6,4 % de CO_2 dans l'air inspiré.

Après un temps de repos, on pratique une épreuve d'hypercapnie gauche. L'hyperventilation augmente à peine, mais le pH varie de 7,41 à 7,37 et la P_{CO_2} de 42 à 48,5 mm Hg. De plus, l'étude du capnogramme montre qu'un plateau est impossible à atteindre et, lorsque l'on arrête l'épreuve, $F_E CO_2$ atteint 8 % et $F_I CO_2$ 7,6 %.

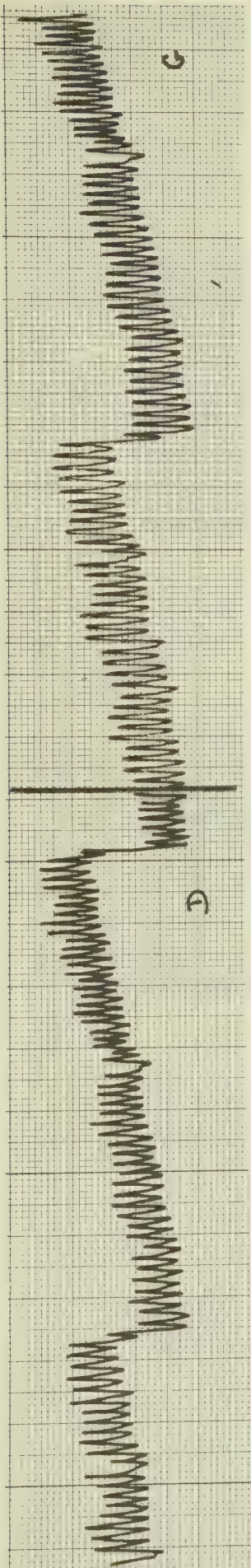
L'hypercapnie globale à laquelle nous soumettons, enfin, le malade ne fait que confirmer les résultats de l'épreuve gauche.

Aup... André.

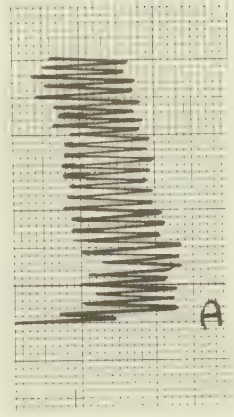
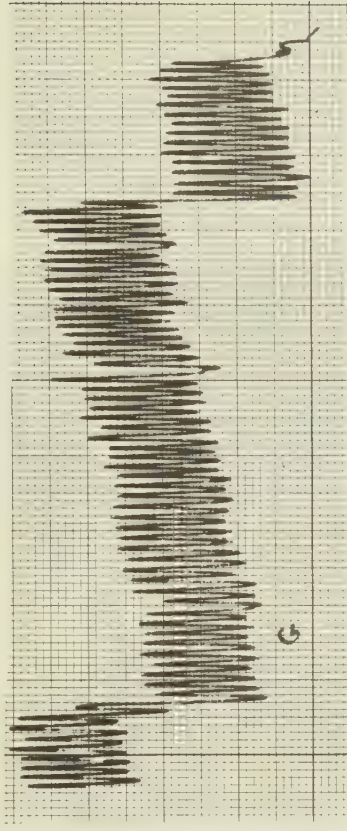
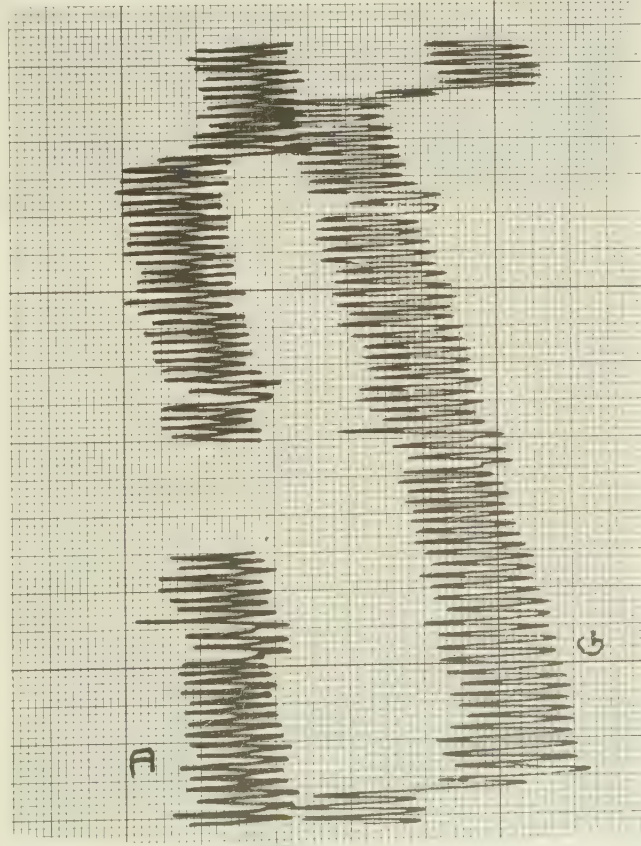
	AVANT ÉPREUVE			HYPERCAPNIE DROITE			HYPERCAPNIE GAUCHE		
	P.droit	P.gauche	Total	P.droit	P.gauche	Total	P.droit	P.gauche	Total
Volume courant ml_{mn}	270	300	570	390	480	870	390	480	870
Ventil. minute $l/mn.$	4,850	5,400	10,250	7,800	9,600	17,400	8,150	10,100	18,250
Consomm. O_2 ml/mn	145	135	280	—	270	—	180	—	—
E.R. O_2	33,5	40	36	—	35,5	—	45	—	—
F_1 CO_2	—	—	—	5,8	—	—	—	6,4	—
F_E CO_2	4,8	5,1	—	6,4	—	—	—	6,6	—
P.S.O	89%			88,5%			94,5%		
P_a O_2	60 mm Hg			64 mm Hg			84 mm Hg		
pH	7,44			7,42			7,41		
P_a CO_2	31,5 mm Hg			34 mm Hg			31,5 mm Hg		

B... André

	AVANT ÉPREUVE			HYPERCAPNIE DROITE			HYPERCAPNIE GAUCHE		
	P. droit	P. gauche	Total	P. droit	P. gauche	Total	P. droit	P. gauche	Total
Volume courant ml/mn	150	255	405	240	420	660	255	400	655
Ventil. minute l/mn	2,100	3,700	5,800	3,700	6,500	10,200	4,300	6,800	11,100
Consomm. O_2 ml/mn	70	170	240	—	180	—	85	—	—
E.R. O_2	30	21,5	24	—	36	—	50,5	—	—
$\text{F}_1 \text{ CO}_2$	—	—	—	6,4	—	—	—	7,6	—
$\text{F}_E \text{ CO}_2$	4,6	5,7	—	6,6	5,5	—	4,8	8	—
P.S.O	84%			85%			87%		
Pa O_2	55 mm Hg			53 mm Hg			55 mm H		
pH	7,41			7,40			7,37		
Pa CO_2	42 mm Hg			40,5 mm Hg			48,5 mm H		



1



3

Aup... André

2

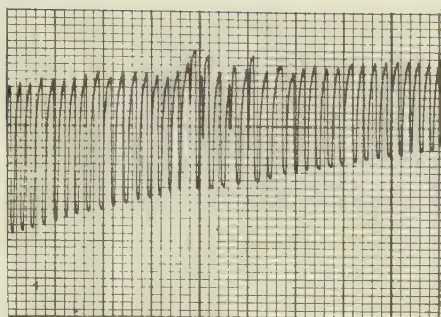
BRONCHOSPIROGRAPHIE

1. Standard

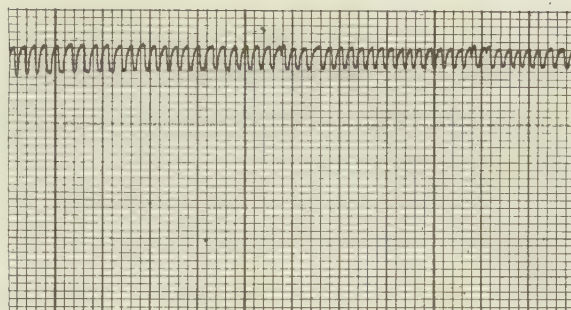
2. Hypercapnie droite

3. Hypercapnie gauche

1

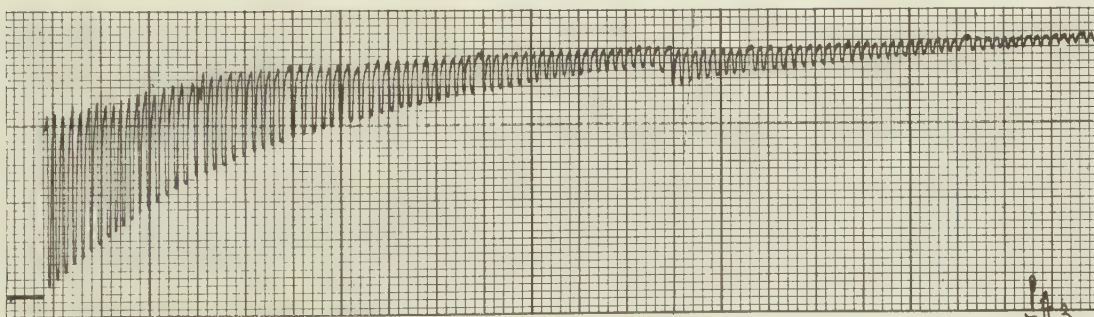


Order Nr. Omn. 057



and  Order Nr. Omn. 057

2



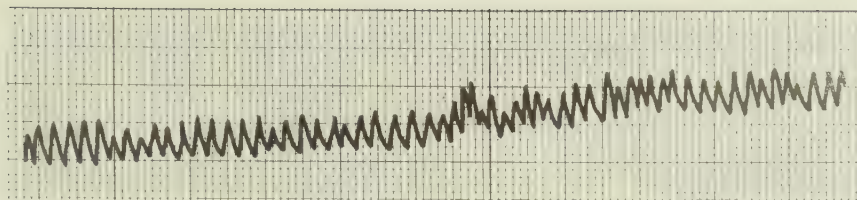
Order Nr. Omn. 057

AUP... André

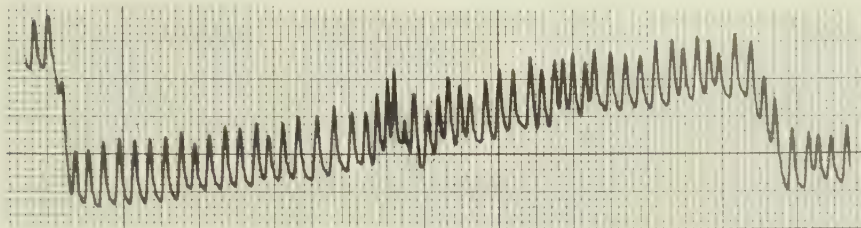
1 HYPERCAPNIE DROITE

2 HYPERCAPNIE GAUCHE

D



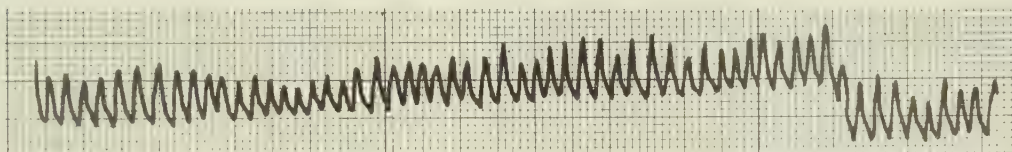
G



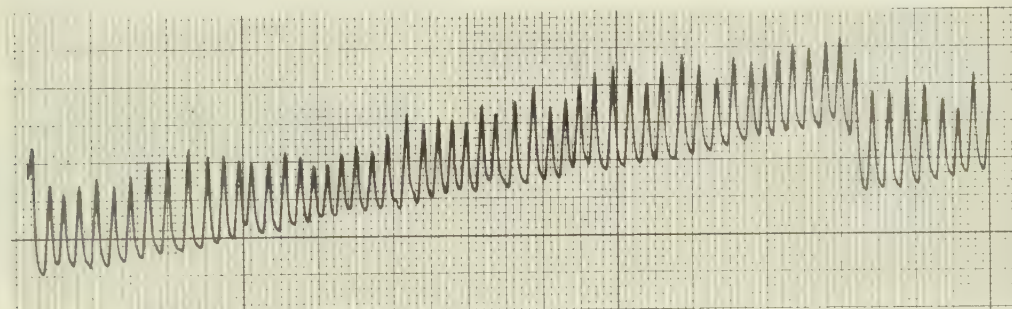
B... André

BRONCHOSPIROGRAPHIE STANDARD

D

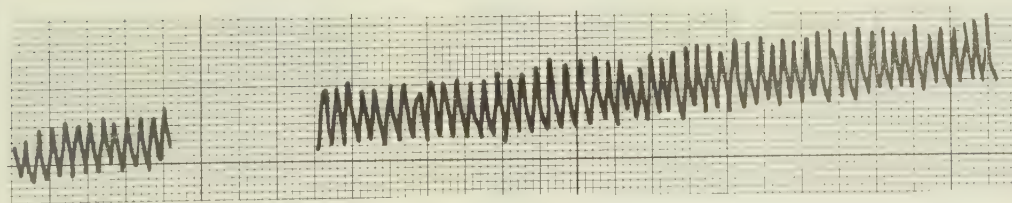


G



HYPERCAPNIE DROITE

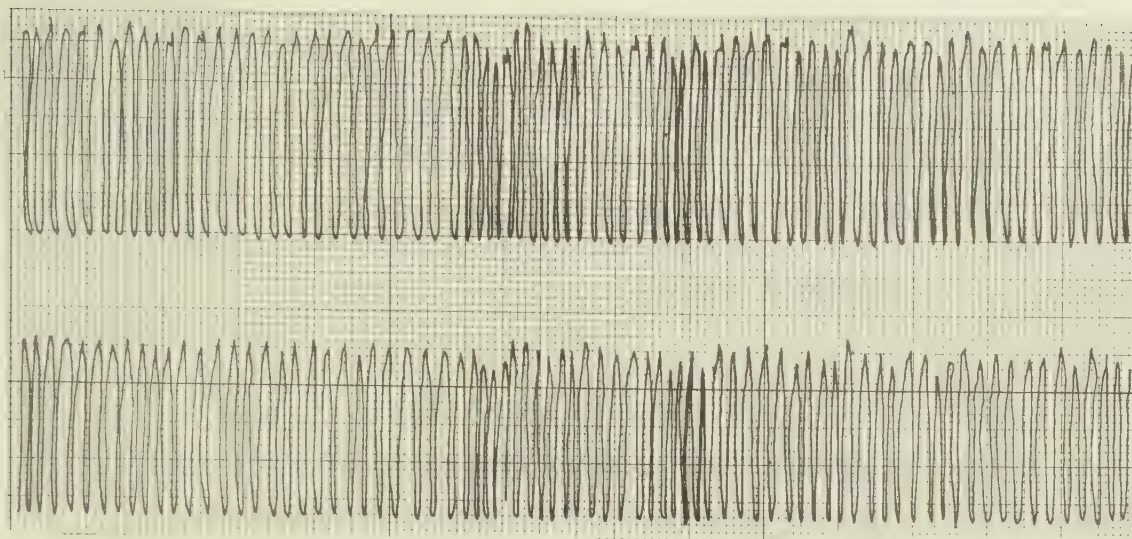
D



G

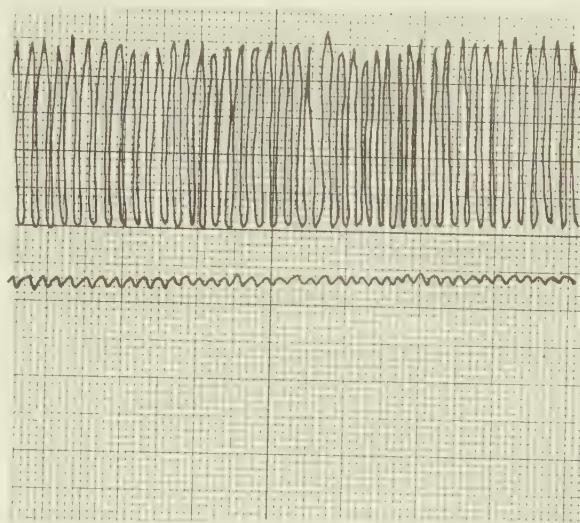
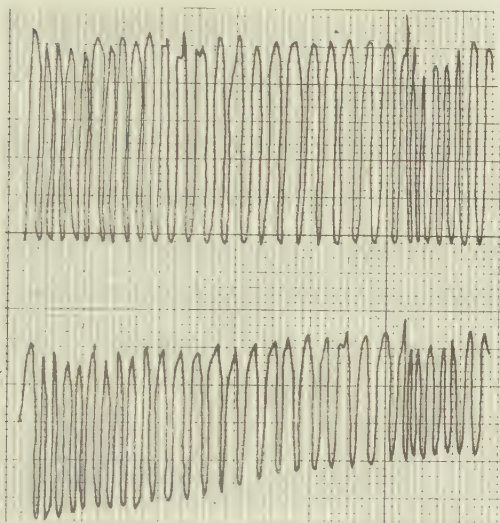


HYPERCAPNIE GAUCHE



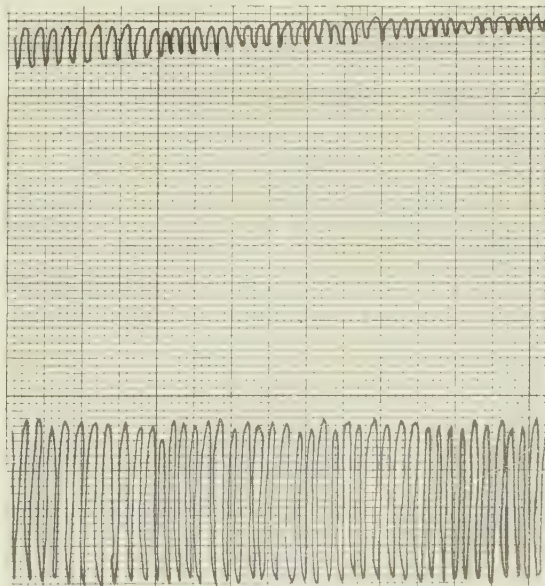
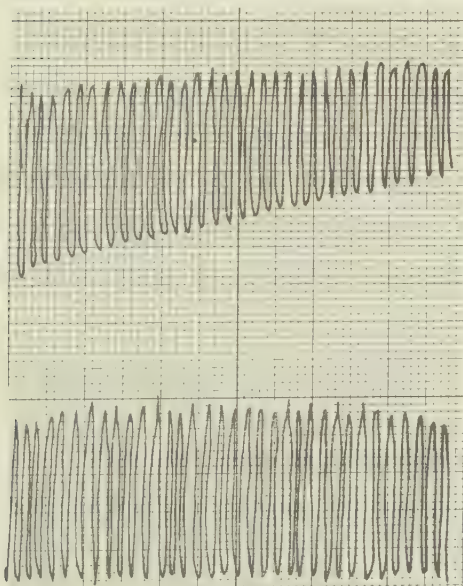
B... André

C A P N O G R A M M E A V A N T T O U T E C H O S E .



H Y P E R C A P N I E D R O I T E

H Y P E R C A P N I E G A U C H E



INTERPRETATION DES RESULTATS -

SUJETS NORMAUX

A - VARIATION DES FACTEURS VENTILATOIRES

I - LA VENTILATION

La ventilation en fin d'épreuve représente plus du double de la valeur initiale. Elle est à peu près également répartie dans chaque champ. Il semble que cette augmentation soit plus importante lorsqu'il s'agit d'une épreuve gauche que lorsqu'il s'agit d'une épreuve droite. Cependant, le très petit nombre de celles-ci ne nous permet pas de porter de conclusions sur cette constatation au demeurant logique.

II - LA CONSOMMATION D'OXYGENE

L_a consommation d'oxygène augmente dans le poumon non soumis à l'épreuve. On peut l'expliquer ainsi : ce poumon hyperventile, chasse davantage de gaz carbonique, ce qui accroît le pH du sang le perfusant, provoque une diminution du taux de carbhémoglobine, et permet secondairement la fixation d'une plus grande quantité d'oxygène. Le raisonnement inverse pour le poumon en hypercapnie est valable. Nous n'avons pu le mettre directement en évidence, mais les accroissements de P_{O2} et de Sa_{O2} en fin d'épreuve, témoins d'une "trop bonne" compensation d'oxygène peuvent en être considérés comme une preuve supplémentaire.

III - L'EQUIVALENT VENTILATOIRE

L'équivalent ventilatoire pour l'oxygène augmente en moyenne de près de 50 %. L'hyperventilation du poumon non soumis à l'épreuve est très supérieure à

ce que nécessitait la simple augmentation de consommation d'oxygène. Elle n'est donc pas totalement consécutive à la variation de consommation d'oxygène, mais plutôt au facteur régulation du trouble des échanges concernant le CO_2 .

La concentration de gaz carbonique en fin d'expiration s'accroît dans le poulmon en hypercapnie et devient peu à peu égale à la concentration de CO_2 dans l'air inspiré. Il y a équilibre entre la P_{CO_2} du sang veineux mêlé perfusant ce poulmon et celle de l'air alvéolaire de ce même poulmon. Cette technique peut donc permettre la détermination indirecte de la P_{CO_2} du sang veineux mêlé sans qu'il soit nécessaire de pratiquer un catetherisme cardiaque. En fait, les modifications hémorespiratoires et cardiovasculaires consécutives à l'examen séparé peuvent modifier les valeurs de façon assez sensible.

Dans le poulmon contralatéral, la $\text{F}_\text{E} \text{CO}_2$ a plutôt tendance à diminuer légèrement, et le débit total de gaz carbonique éliminé par ce poulmon ventilant deux fois plus n'est pas tout à fait égal au débit total avant l'expérience.

Ceci explique peut être la toute petite diminution de pH sur laquelle nous reviendrons plus loin.

B - VARIATIONS DES FACTEURS HEMORESPIRATOIRES

I - L'OXYGENE - La P_{O_2} et la Sa_{O_2} en fin d'épreuve sont généralement plus élevées qu'au début. Pour assurer une compensation d'oxygène correcte dans le poulmon en hypercapnie, nous nous sommes fiés à sa consommation d' O_2 au repos. Nous avons montré plus haut qu'elle est très certainement inférieure dans ces conditions expérimentales. (Rappelons une dernière fois à ce propos que la consommation d'oxygène d'un poulmon respirant dans un circuit privé de chaux sodée n'est pas mesurable de façon précise et simple, les critères spiropographiques habituels étant inutilisables). Le léger "surdosage" en oxygène explique l'augmentation de ces paramètres. De toute

façon, l'accroissement de la P_{O_2} n'aurait pu qu'entraîner une hypoventilation, ce qui n'est visiblement pas le cas.

II - pH et P_{CO_2}

A part un cas où la ponction artérielle s'est accompagnée d'une forte quinte de toux assimilable à une épreuve d'effort, les variations de P_{CO_2} ne peuvent être considérées comme significatives.

Il est difficile de se prononcer sur la petite diminution du pH, car elle se trouve juste à la limite des erreurs expérimentales.

EN RESUME

- 1°) La ventilation double -
- 2°) On n'observe aucune tendance à l'hypoxie
- 3°) On n'observe pas de modifications des paramètres concernant le CO_2 .

Par quel mécanisme l'hyperventilation s'est-elle manifestée ? On considère classiquement que la régulation de la ventilation est liée à des modifications du pH ou/et de la P_{CO_2} sanguine.

Dans notre expérimentation, les paramètres pH - P_{CO_2} ne sont pas modifiés de façon significative; pourtant, la ventilation double.

On peut donc :

1°) ou bien conclure, comme NAHAS, que d'infimes variations de pH dans le sang artériel irriguant les centres respiratoires suffisent pour donner une réponse immédiate de ces centres au niveau de la ventilation et ramener ainsi le pH à une valeur normale (effet feed-back). Pour vérifier cette hypothèse, il nous faudrait pouvoir pratiquer des mesures continues et extrêmement précises de pH artériel, ce qui n'est pas techniquement valable à l'heure actuelle.

Notre ponction artérielle dure environ 20 à 30 secondes, ce qui, dans le temps, nous fournit seulement un sang artériel mêlé, pouvant comporter des fractions en acidose et d'autres en alcalose, leur somme ayant un pH normal.

2°) Ou bien envisager une régulation à point de départ local, faisant intervenir des chémorécepteurs au niveau des alvéoles ou des veines pulmonaires. Ces récepteurs seraient stimulés par l'hypocapnie ou l'hypercapnie et provoqueraient une augmentation de la ventilation.

Une autre constatation découle de cette étude : Une hypercapnie progressive unilatérale maximale intéressant la totalité du champ pulmonaire gauche est parfaitement compensée par l'autre poumon. Ainsi, lorsque l'on se trouve en présence d'un syndrome d'hypoventilation alvéolaire global, c'est-à-dire d'un syndrome d'hypoxémie hypercapnique, cela signifie que l'hypoventilation intéresse un territoire plus important que le champ pulmonaire gauche.

INTERPRETATION DES RESULTATS - SUJETS PATHOLOGIQUES

Il s'agit d'épreuves d'hypercapnie intéressant un poumon cliniquement, radiologiquement et fonctionnellement sain, en face d'un poumon présentant une anomalie clinique. Leur intérêt en est évident pour le physiopathologiste respiratoire et l'anesthésiste-réanimateur en chirurgie de l'oesophage par exemple.

Quatre malades sont étudiés ici. Nous allons reprendre successivement chaque cas :

1°) PER... Joseph.

Les résultats sont différents de ceux obtenus chez les sujets normaux. Si, là aussi, nous observons une très forte augmentation de la ventilation, celle-ci s'accompagne d'une augmentation significative de la P_{aCO_2} et d'une diminution significative du pH. Le poumon droit a donc été incapable de compenser l'hypercapnie du poumon gauche. Ceci peut être rattaché au trouble global de type obstructif observé en spiropgraphie standard.

On voit que ce trouble pourtant modéré peut s'accompagner de perturbations significatives dans les phénomènes de compensation ventilatoires. L'hyperventilation compensatrice du poumon droit n'a pas été capable de supprimer l'acidose respiratoire consécutive à l'hypercapnie gauche.

2°) MEZ... Hocine

Il présente une thoracoplastie droite, de cinq côtes, avec tuberculose pulmonaire évolutive sous-jacente.

La fonction ventilatoire droite est fortement amputée, en particulier en ce qui concerne la consommation d'oxygène, égale seulement au $1/3$ de la valeur globale. L'hypercapnie progressive réalisée à droite a été longue à obtenir, car le poumon éliminait peu de CO_2 et nous avons arrêté l'épreuve avant l'atteinte des valeurs maximales. Nous n'avons observé aucune modification significative au niveau des gaz du sang artériel. Par contre il en a été tout à fait différemment lorsque nous avons pratiqué une épreuve à gauche.

Ce cas est superposable à celui de notre dernier patient et nous y revenons.

3°) AUP... André

Voici un malade porteur d'une néoformation à droite.

Les hypercapnies réalisées à droite, puis à gauche, ont donné des résultats à peu près équivalents. Ce cas demeure difficile à interpréter, car (a) on observe de petites modifications de la Pa_{CO_2} lorsque l'hypercapnie intéresse le poumon malade, ce qui paraît un peu paradoxal et (b) l'hypercapnie gauche s'est accompagnée d'un trop grand apport en oxygène, ce qui a retenti sur l'hématose de ce poumon.

Il semble cependant que ce poumon droit a été aussi bien capable de compenser l'hypercapnie gauche que le poumon gauche l'hypercapnie droite.

4°) B... André

Comme dans le second cas, on observe un résultat tout à fait significatif. Lorsque l'épreuve d'hypercapnie intéresse le poumon malade, les modifications décelées sont superposables à ce que l'on rencontre chez les sujets normaux. La ventilation double, la consommation d'oxygène s'accroît, les paramètres hémorespiratoires ne varient pratiquement pas. Par contre, lorsque l'hypercapnie intéresse le poumon sain en face d'un parenchyme droit affaibli par une thoracoplastie, le malade devient dyspnéique, on est obligé d'arrêter l'épreuve au bout de quelques minutes et l'on

s'aperçoit, sur les gaz du sang, que le pH a diminué et qu'il existe une hypercapnie très significative.

Le champ pulmonaire droit est donc incapable ici de compenser une hypercapnie gauche. L'attention du chirurgien et de son anesthésiste est donc attirée par cette conclusion et il conviendra d'être très prudent quant à l'indication opératoire, au choix de la voie d'abord et à la ventilation au cours de l'intervention.

En conclusion de l'étude de ces cas pathologiques, nous pouvons mettre en évidence un critère fonctionnel de poumon sain :

un poumon sain doit être capable de compenser parfaitement, par une hypoventilation adaptée, une hypercapnie maximale intéressant l'autre poumon.

Nous l'avons montré ici pour le poumon gauche. Il devrait en être de même pour le poumon droit, mais répétons que le trop petit nombre d'épreuves réalisées de ce côté ne nous autorise pas à conclure formellement.

C O N C L U S I O N S

Nous avons profité de la nécessité d'examens bronchospirographiques des poumons séparés préopératoires pour réaliser chez douze sujets des épreuves d'hypercapnie progressive unilatérale droite parfois, gauche le plus souvent, et faire une étude physiologique de cette "anomalie" expérimentale. Huit patients étaient normaux sur le plan cardioventilatoire, les quatre autres présentaient cliniquement et radiologiquement des troubles ventilatoires plus ou moins importants.

De cette étude, nous pouvons faire ressortir les points suivants :

1°) Chez le sujet normal : lorsque l'on pratique une épreuve d'hypercapnie progressive maximale unilatérale gauche on observe :

a) une hyperventilation globale, droite et gauche, telle que la ventilation du poumon non intéressé par l'épreuve devient voisine de la ventilation globale primitive.

b) une petite augmentation de la consommation d'oxygène de ce poumon droit, consécutive à l'effet BOHR.

c) une élévation significative de l'équivalent respiratoire pour l'oxygène dans ce poumon. L'hyperventilation alvéolaire que traduit cette constatation est liée aux mécanismes compensateurs de l'hypercapnie et correspond à l'augmentation du débit de gaz carbonique éliminé par ce poumon, augmentation secondaire à l'hyperventilation et non à l'accroissement de $F_E \text{ CO}_2$.

d) de très faibles modifications des gaz du sang périphérique entre le début et la fin de l'épreuve. La P_{aCO_2} en particulier conserve la même valeur et les variations du pH vers l'acidose sont si faibles qu'il n'est pas possible de les considérer comme significatives.

Le mécanisme régulateur qui a provoqué l'hyperventilation peut être discuté. S'agit-il d'une régulation centrale directe qui permet l'équilibre constant des paramètres hémorespiratoires concernant le gaz carbonique, ou bien d'un mécanisme réflexe à point de départ local, dont l'existence reste bien sûr à démontrer ?

2°) Chez le sujet pathologique : lorsque l'épreuve d'hypercapnie unilatérale est réalisée dans le poumon opposé au poumon malade, deux éventualités peuvent se produire :

a) le poumon pathologique est capable, au même titre qu'un parenchyme sain, de compenser l'anomalie.

b) le poumon pathologique ne peut, par une hyperventilation efficace, éliminer la totalité du CO_2 . Il se crée alors rapidement un syndrome d'hypercapnie et l'épreuve doit être interrompue prématurément.

3°) Sur un plan pratique fonctionnel, il résulte que :

a) le contrôle de la concentration de CO_2 en fin d'expiration dans le poumon en hypercapnie permet d'atteindre indirectement la $\overline{FV}_{CO_2}$ sans qu'il soit nécessaire de réaliser un prélèvement par catéthérisme cardiaque.

b) nous pouvons mettre en évidence un critère important : pour qu'un poumon droit puisse être considéré fonctionnellement comme normal, il doit être capable de compenser parfaitement une hypercapnie maximale gauche.

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	1.-
<u>CHAPITRE I -</u>	
NOTIONS FONDAMENTALES D'EXPLORATION FONCTIONNELLE PULMONAIRE GLOBALE ET DE BRONCHOSPIROMETRIE	4.-
I - EXPLORATION DE LA VENTILATION GLOBALE	4.-
II - LA BRONCHOSPIROMETRIE	6.-
a) L'épreuve d'ARNAUD	7.-
b) Epreuve de réinspiration unilatérale	8.-
c) Epreuve d'hypoxie unilatérale à l'azote	8.-
d) Epreuve d'effort	8.-
<u>CHAPITRE II -</u>	
BASES PHYSIOLOGIQUES ET PHYSIOPATHOLOGIQUES	9.-
I - LA VENTILATION ALVEOLAIRE	10.-
II - LA DIFFUSION ALVEOLO-CAPILLAIRE	10.-
III - LE SHUNT VEINO-ARTERIEL PULMONAIRE	11.-
IV - LE RAPPORT VENTILATION/PERFUSION	12.-
V - L'EQUIVALENT RESPIRATOIRE POUR L'OXYGENE	14.-
PHYSIOPATHOLOGIE DES EPREUVES DE CHARGE	16.-

	Pages
<u>CHAPITRE III</u>	
A - MATERIEL UTILISE	21.-
I - LA SONDE DE BRONCHOSPIROMETRIE	21.-
II - LE SPIROGRAPHE	24.-
III - L'ANALYSEUR DE CO ₂	26.-
IV - LA MESURE DES GAZ DU SANG	32.-
 B - LE PROTOCOLE EXPERIMENTAL	34.-
I - METHODE DE TRAVAIL	34.-
II - REALISATION	34.-
 <u>CHAPITRE IV -</u>	
RESULTATS	37.-
INTERPRETATION DES RESULTATS	64.-
 CONCLUSIONS	71.-
 BIBLIOGRAPHIE :-	

Vu, le Président de Thèse :

Professeur J. BAUMANN

Vu, le Doyen de la Faculté :

Professeur G. BROUET

Vu, et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris

Jean ROCHE

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - AGREST (A.), POCCIDALO (J.-J.), LISSAC (J.), BLAYO (M.C.). -
Effecto de la hipoxia pulmonar unilateral - Estudio la excretion de anhídrido carbonico en perros sometidos a ventilacion regulada.
Medicina. 1961 21 : 3, 87-93.
- 2 - ALIX (J.) et LOZANO (C.) -
Bronchspirometry in lateral decubitus position and in clinical practice : survey of the ventilatory efficiency.
J. Thoracic Surg., 1957, 34, 365.
- 3 - ARNAUD (J.), TULOU (P.), MERIGOT (R.)
Exploration fonctionnelle des poumons séparés.
Presse Médicale, 1943, 44 467.
- 4 - ARNOULD (P.)
La régulation de la Respiration -
In L'exploration fonctionnelle pulmonaire, par SADOUL (P.), DENOLIN (H.), et ORIE (N.C.M.)
Paris Flammarion Ed. 1964.
- 5 - ARNOULD (P.) et PETIT (J.)
Effets ventilatoires de l'inhalation de divers mélanges gazeux par un poumon vasculairement exclu chez le chien chloralosé.
XXII - Intern. Congress of Physiological Sciences. Leiden 1962.
- 6 - ASTROM (A.)
On the action of combined Carbon dioxide excess and oxygen deficiency in the regulation of breathing.
Acta Physiol. Scand. 27. Suppl. 98. I-61. 1952.
- 7 - ATWELL (R.J.), HICKAM (J.B.), PRYOR (W.W.) and PAGE (E.B.) -
Reduction of blood flow through the hypoxie lung.
Amer. Journ. Physio., 1961, 166, 7/37.

8 - AUTIO (V.)

The reduction of respiratory function by parenchymal and pleural lesions. A bronchspirometric study of patients with unilateral involvements.

Acta tuberc. scandinav., 1959, 37, 112.

9 - AVIADO (D.M.J.), LING (J.S.), and SCHMIDT (C.F.) -

Effects of anoxia on pulmonary circulation. - Reflex pulmonary vasoconstriction.

Am. Journ. Physio., 1957, 189, 253/262.

10 - BAKER (L.E.)

A rapidly responding narrow-band infra-red gaseous CO₂-analyser for physiological studies.

I.R.E. Transactions - 1961. B.M.E. 8, 16.

11 - BALDWIN (E.), COURNAND (A.), RICHARDS (D.W.)

Pulmonary insufficiency : I Methods of analysis, physiologic classification, standard values in normal subjects.

Medicine 27 : 243 - 278. 1948.

12 - BARTELS (H.), BUCHERL (E.), HERTZ (C.W.), RODEWALD (G.), SCHWAB (M.)

Methods in pulmonary physiology-Traduction anglaise par WORKMAN.(J.M.)
Hafner Publishing Company. New-York 1963.

13 - BENZIGER (T.) et KITZINGER (C.)

Photographische Rehistrierung interferiometrischer Gasanalysen.

A.A.F. Aeromed. Center? Heidelberg 1946.

14 - BIRATH (G.), STALLBERG-STENHAGEN (S.) et SWENSON (E.W.)

Significance of bronchspirometric values.

Am. Rev. Tuberc., 1957, 75, 699.

15 - BJORKMAN (S.)

Bronchspirometry.

Acta. Med. Scand. Supp. 1934 56.

16 - BJORKMAN (S.)

La valeur des techniques endobronchiques dans l'étude de la capacité fonctionnelle de chaque poumon séparément.

Les Bronches 1955. 5, 371-380.

17 - BJORKMAN (S.), BLAKEMORE (W.), CARLENS (E.)

Le débit sanguin à travers un poumon hypoxique chez l'homme dans le décubitus dorsal et latéral.

IIIe Congrès International des Maladies du Thorax, 1954, 223.

18 - BJÖRKMAN (S.) et CARLENS (E.)

Bronchspirometric examination during exercise.
Acta oto-laryng., suppl. 95, 265.

19 - BJÖRKMAN (S.) et CARLENS (E.)

The lung function during rest and exercise in lung diseases.
A bronchspirometric study.
Acta. Med. Scandinav. 1951, Suppl. 259-63.

20 - BLAKEMORE (W.S.), CARLENS (E.), and BJORKMAN (S.)

Effect of unilateral rebreathing of low oxygen gas mixtures upon pulmonary blood flow in man.
Surg. Forum, 1955, 5, 691.

21 - BLOOMER (W.E.), HARRISON (W.), LINDSKROG (R.E.) and LIEBOW (A.A.)

Respiratory function and blood flow in the bronchial artery after ligation of the pulmonary artery.
Amer. Journ. of Physiology 167. 317. 1949.

22 - BONELLI (L.), ROCHAT (D.), et BAGLIONE (L.) -

La broncòspirometria, tecnica e indicazioni.
Corso di broncologia. Milan, 1952, Ed. Idos, p. 125-165.

23 - BORELLI (G.R.)

De motu animalium.
2 vol. Rome Bernabè. 1680-1681.

24 - BRILLE (D.), HATZFELD (C.), KOURILSKY (R.) -

Valeur des techniques endobronchiques pour l'exploration fonctionnelle des poumons séparés.
Bronches. 1955 5, 9-10, 380-488.

25 - BRUCK (A.), HASS (Ph.), ULMER (W.) -

Ein schnellanzeigenden ultra-Rot-Absorption - Schreiber zur fortlaufenden Messung der Kohleensäurekonzentration in der Atemluft.
Pflügers Archiv. 1954, Bd 259 pp. 142-145.

26 - CAMPBELL, DOUGLAS et HOBSON

J. Physiol. 1914 - 48 - p. 302.

27 - CARA (M.)

Mécanique ventilatoire intérieure.
Le poumon et le cœur. 1955 (II) 965-995.

28 - CARLENS (E.)

A new flexible double-lumen catheter for bronchspirometry.
Journ. Thorac. Surg. 1949 18 742.

- 29 - CARLENS (E.), HANSON (H.E.), NORDENSTRÖM (B.)
Journal of thoracic surgery. 22, 527 (1951).
- 30 - CASTILLON DU PERRON (M.), LANOOTE (M.), CHATARD (P.), LECHIEU (J.)
Le test d'hypoxie unilatérale en chirurgie thoracique.
J. Franc. méd. chir. thor. 1959. 13. 75.
- 31 - CHADOURNE (P.) et PINELLI (A.) -
Tracé bronchospirométrique après amputation accidentelle de la circulation pulmonaire.
Sem. des Hôpitaux, 33, 1749, 1957.
- 32 - CHEVAIS (R.), LIERMAIN (A.), CASTAING (R.) -
Les variations de la perfusion pulmonaire au cours de l'épreuve d'hypoxie unilatérale.
J. franç. méd. chir. thor. 1962 16, 5-6, 470-479.
- 33 - COBLENTZ (W.W.) -
Supplementary investigations of infra-red spectra.
Carnegie Institution of Washington 1908.
- 34 - COLLIER (C.R.), AFFELDT (J.E.), FARR (A.F.)
Continuous rapid infrared CO₂ Analysis.
Journal of Laboratory and Clinical Medicine, 1955. Vol. 45 N° 4, 526-5
- 35 - COMROE (J.H.)
Physiology of respiration.
The Year Book Medical Publishers Inc. Chicago 1965.
- 36 - COMROE (J.H.), FORSTER (R.E.), DUBOIS (A.B.), BRICOE (W.A.), CARLSEN (E.).
The Lung. Traduction française par DRUTEL (P.) et PINELLI (A.)
Presses scientifiques internationales. Paris 1958.
- 37 - COTES (J.E.)
Lung function.
Blackwell Scientific Publications. Oxford 1965.
- 38 - COTTON (F.S.)
Studies in respiration ; simple Method for investigation of fractional samples of expired air.
Australian J. Exp. Biol. Med. Sci. 1939. 17 425.
- 39 - CURNAND (A.)
Pulmonary circulation. Its control in man with some remarks on methodology.
Am. Heart J., 1957, 54, 172.

40 - CROCE (P.)

La broncospirometria. Tecnica e indicazioni.
Florence, 1954, Ed. Macri.

41 - DENOLIN (H.)

Aspects Physiopathologiques de la circulation pulmonaire.
(Rapport IIIe Congrès Int. Cardiologie. Bruxelles, 1958.

42 - DENOLIN (H.), SADOUL (P.), ORIE (N.G.M.)

L'exploration fonctionnelle pulmonaire.
Paris. Flammarion 1964.

43 - DIRKEN (M.N.J.) et HEEMSTRA (H.)

The adaptation of the lung circulation to the ventilation.
Quart. J. Exper. Physiol., 1948, 34, 213.

44 - DIRKEN (M.N.J.) et HEEMSTRA (H.)

Alveolar O_2 tension and lung circulation.
Quart. J. Exper. Physiol., 1948, 34, 193.

45 - DRIPPS (R.S.) and COMROE (J.H.)

The respiratory and circulatory response of normal man to
inhalation of 7,6 and 10,4 per cent CO_2 with a comparison of
the maximal ventilation produced by severe muscular exercise,
inhalation of CO_2 and maximal voluntary hyperventilation.
Am. J. Physiol. 149 : 43-51, 1947.

46 - DRUTEL (P.)

La diffusion des gaz dans les poumons et son étude.
Rev. Path. Gén. et Phys. Clin., 1963, 745 161/172.

47 - DRUTEL (P.)

Exploration de la fonction respiratoire.
Encyclopédie Médico-chirurgicale. Anesthésie - Réanimation.
36 030 A¹⁰
(1963).

48 - DRUTEL (P.)

Les gaz du sang. Oxygène et gaz carbonique et leur transport.
Rev. Path. Génér. et de Phys. Clin. 1963 N° 745 pp. 145 à 158.

49 - DRUTEL (P.)

La vasomotricité pulmonaire.
Acta de l'Institut d'Anesthésiologie. Tome X. 1961. pp. 29-53.

50 - DRUTEL (P.)

Rapports entre la ventilation alvéolaire et la circulation capil-
laire pulmonaire.
Acta de l'Institut d'Anesthésiologie. Tome VIII. 1959. 39-53.

51 - DRUTEL (P.) et coll.

Modifications ventilatoires et hémorespiratoires au cours d'épreuves d'hypoxie et d'hypercapnie alvéolaires progressives unilatérales chez le sujet normal.
Revue de Pathologie comparée. 65e année T. 2, 8, 71. Oct 65 pp. 503/9.

52 - DRUTEL (P.), MAGNIN (A.), MAGNIN (P.)

Adaptation ventilatoire et circulatoire pulmonaire à l'hypoxie et à l'hypercapnie progressives alvéolaires unilatérales chez l'homme normal.
Thérapie. 1965 XX 379-391.

53 - DRUTEL (P.), MAGNIN (P.) et Coll.

Modifications ventilatoires et hémorespiratoires au cours d'une épreuve d'ARNAUD chez le sujet normal.
Revue de Pathologie comparée. 65e ann. T. 2, 8, 771 -Oct. 1965 ; pp. 499 à 502.

54 - DUBOIS (A.B.), FOWLER (R.C.), SOFFER (A.) and FENN (W.O.)

Alveolar CO₂ measured by expiration into the rapid infra-red gas analyser.
Journal of Applied Physiology 1952. 4 546-534.

55 - DUKE (H.)

Observation on the effects of hypoxia on the pulmonary vascular bed.
1957. 135, 45/51.

56 - DUKE (H.) et LEE (G.)

Regulation of blood flow through the lungs.
Brit. Med. Bull., 1963, 19, 71.

57 - DUTTON (R.E.), FITZGERALD (R.S.), GROSS (N.)

Ventilatory response to oscillations of CO₂ into the carotid bodies.
Féder. Proc. U.S.A. 1965. 24, N° 2, part. I. 272.

58 - FASTIE (W.G.) and PFUND (A.H.)

Selective infra-red gas analysers.
J. Opt. Soc. Am. 1947 37 p. 762.

59 - FENN (W.O.) and RAHN (H.)

Handbook of Physiology. (Sect. III : "Respiration")
American Physiological Society. Washington D.C. 1964.

60 - FISHMANN (A.P.)

Respiratory gases in the regulation of the pulmonary circulation.
Physiol. Rev., 1961, 41, 214/280.

61 - FISHMANN (A.P.), HIMMELSTEIN (A.), FRITTS (H.W.) et COURNAND (A.)

Blood flow through each lung in man during unilateral hypoxia.
J. Clinic. Invest. 1955, 34 637.

62 - FITZGERALD (R.S.), ZAJTCHUK (J.T.), PENMAN, PENMAN (R.W.B.), PERKINS (J.F.)

Ventilatory response to transient perfusion of carotid chemoreceptors.
Amer. J. Physiol. (1964) 207 N° 6, 1305-13.

63 - FLANDROIS (R.)

La regulation humorale de la respiration.
Encyclopédie Médico-Chirurgicale. Anesthésie - Réanimation.
36.030 E.10.

64 - FOWLER (R.C.)

A rapid infra-red gas analyser.
Amer. J. Phys. 1948 155 436.

65 - FOWLER (R.C.)

A rapid infra-red gas analyser.
The Review of Scientific Instruments. 1949 20, 3, pp. 175/178.

66 - FOWLER (W.S.)

Lungfunction studies II. The Respiratory dead space.
American Journal of Physiology 1948 154 405/406.

67 - GAENSLER (E.A.)

J. Lab. Clin. Méd. 1952 39 917.

68 - GAENSLER (E.A.) and CUGELL (W.)

Bronchspirometry IV. Ambient air and oxygen. Recording bronchspirometry.
Journ. Lab. Clin. Med. 1952 - 40 410/430.

69 - GAENSLER (E.A.), MALONEY (J.V. Jr.) et BJÖRK (V.O.)

Bronchspirometry II. Experimental observations and theoretical considerations of resistance breathing.
Journal. Lab. and Clin. Med. 1952. 39, 935.

70 - GARBAGNI (R.)

Bronchspirométrie - dans "Exploration fonctionnelle pulmonaire"
DENOLIN, SADOUL et coll.
Paris, Flammarion 1964, pp. 719 à 740.

71 - GEBAUER (P.W.)

A catheter for bronchspirometry.
J. Thorac. Surgery 1939, 8, 674.

72 - GILMOUR (D.)

On micro-analysis of gases, with description of new apparatus
for use in dry Method of analysis for Carbon dioxide and oxygen.
Australian J. Exp. Biol. Med. Sci. 1938, 16, 209.

73 - GÖPPERT (H.), FREY (R.)

Ein schnellanzeigendes Messgerät für die Kohlensäure in der
Ausatemungsluft.
Archiv. 1954, 279, 803/809.

74 - GÖPFERT (H.) und HENNEBERG (U)

Der Austieg von CO₂ Konzentration in der Expirationsluft im
Verlauf einzelner Atemzüge.
Pflüges Archiv. Bd 263. 1956 (5-I-22).

75 - GÖPFERT (H.) und JAKOB (W.)

Atmungsanalyse durch simultane Registrierung mit Spirometer und
schnellanzeigenden CO₂-Analysator.
Klinische Wochenschrift Bd 33 (1955) S. 958.

76 - GREHANT (N.)

Mesure du volume des poumons de l'homme.
Compte rendu Acad. Sciences. 1860. 51 : 21/23.

77 - GRIGGS (D.E.), HACKNEY (J.D.), COLLIER (C.R.) and AFFELDT (J.E.)

The rapid diagnosis of ventilatory fail with the CO₂-analyser.
American Journal of Medicine 1958. 25, 31/36.

78 - GUNELLA (G.) et JOUASSET (D.)

L'esplorazione funzionale della respirazione.
(Turin, 1956, Ed. Minerva med.)

79 - HALDANE (J.S.)

Respiration.
Yale university press. 1922 pp. 15/42.

80 - HALDANE et PRIESTLEY

J. Physiol. 1905 32 225-226.

81 - HENNEBERG (U.)

Über physiologische und klinische CO₂ Messungen in der Expirations-
luft mit dem URAS M.
Dissertation. Heidelberg. 1955.

82 - HERMANN

Respiration unilatérale. Sa régulation - Etude expérimentale.
Thèse. Nancy, 1921.

83 - HERTZ (C.W.)

Thorax chirurgie. 1956 4, 252.

84 - HERTZ (C.W.), WITZLIEB (E.), FREUD (H.), SCHLEPPER (M.)

Reflectorische Beeinflussung der Atmung durch Änderung der CO₂
Konzentration in den Lungen alveolen Lungencapillaren. Ein bi-
cher unbekannter Atem reflex.
Klin. Wschr., 1961, 39, 650/651.

85 - HIMMELSTEIN (A.B.), HARRIS (H.W.), FRITTS (H.W.Jr) and Cournand (A.)

Effect of severe unilateral hypoxia on the partition of pulmo-
nary blood in men.
J. Thorac. Surg., 1958, 36 T3 359/381.

86 - HONDA (Y.), NATSUI (T.), HASEMURA (N.)

Analysis of ventilatory response to CO₂ during hypoxia in dogs.
J. Appl. Physiol. 1965 20-(5) 839-843.

87 - HORNBEIN (F.F.), GRIFFO (Z.J.), and ROOS (A.)

Quantitation of chemoreceptor activity. Interrelation of hypoxia
and hypercapnia.
J. Neuro-Physio., 1961, 24, 561/568.

88 - HOSSEIN - DARIUS FAHIMI

Über die fortlaufende CO₂ - Messung und Registrierung mit der
Ultra-Rot Absorptionsschreiber.
Dissertation am physiologischen Univ. Inst. Heidelberg. 1958.

89 - HUNTER (J.A.) et Coll.

Mass spectrometer for continuous gas analysis.
Rev. Sci. Instr. 1949, 20, 33.

90 - HURLIMANN (A.) and WIGGERS (C.J.)

The effects of progressive anoxia on the pulmonary circulation.
Circul. Resp., 1953 I, 230/237.

91 - HUTCHINSON (J.)

On the capacity of the lungs, and on the respiratory functions
with a view of detecting disease by the spirometer.
Med. Chir. Tr. Ser. II. 1846 II. 137-252.

92 - INADA (K.), KISMIMOTO (S.), WATANABE (W.)

Bronchospirometry with CARLENS double lumen catheter. Evolution
and exercise tests.
J. Thor. Surgery 1954, 27, 173-186.

93 - JACOBALAEUS (H.C.)

De la bronchospirométrie.

VIIIe Congrès de la Tuberculose. Marseille. 1935. 509-531.

94 - JACOBALAEUS (H.C.), BRUCE (T.)

A bronchospirometric study on the ability of the human lungs to substitute for one another.

I. et II. Acta Med. Scand. 1940. 105, 193-210 et 210-241.

95 - JACOBALAEUS (H.C.), FRENCKNER (P.), BJÖRKMAN (S.)

Some attempts at determining the volume and function of each lung separately.

Acta. Med. Scand. 1932, 79, 174.

96 - JONES (R.J.) et GRIFFITH (F.R. Jr)

Improved Measurement of the effect of intra-venously injected adrenalin on the respiratory exchange by colorimetric determination of CO₂ in expired air and continuous graphic registration of O₂ consumption.

Am. Journal of Physiology 1944. 142. 744.

97 -

Central chemical regulation of respiration.

in FENN (W.O.) and RAHN (H.) eds.

Hand-book of physiology : Sec. 3. Respiration. Vol. I.

(Washington D.A. - American Physiological Society, 1964)
pp. 507-534.

98 - KOURILSKY (R.), MARCHAL (M.); BRILLE (D.), MARCHAL (M.T.) et HATZFELD (C.)

Répartition de la capacité vitale entre les deux poumons. Comparaison des mesures faites par la statidensidigraphie et la spirométrie chez deux malades.

J. Franç. Méd. et Ch. Thorac., 1957, II, 624.

99 - LACOSTE (J.)

L'antagoniste ventilation-diffusion au cours du cycle respiratoire.

Thèse Sciences. Paris Juin 1958.

100 - LAMBERSTEN (C.J.), GELFAND (R.)

Separation of dynamic response characteristics of H⁺ related an CO₂ related components of respiratory control.

Feder. Proc. U.S.A. 1965, 24 n° 2 part. I, 272.

101 - LAVOISIER (A.L.)

Oeuvres de LAVOISIER.

Paris. Imprimerie Impériale (1862-1893).

102 - LEUSTEN (T.), de MEESTER (G.).

Influence de l'hypoxémie sur la circulation pulmonaire chez le chien et le chat.

Act. Card., 1955 (10 - 6).

103 - LEWIS (B.M.) and GORLIN (R.)

Effects of hypoxia on pulmonary circulation in the dog.

Am. Journ. Physiol., 1952, 170, 574/587.

104 - LILJESTRAND (G.)

Chemical control of the distribution of the pulmonary blood flow.

Acta Physiol. Scand., 1958, 44 Fasc. 3 et 4.

105 - LEWIS (B.M.) and GORLIN (R.)

Effects of hypoxia on pulmonary circulation in the dog.

Am. Journ. Physiol., 1952, 170, 574/587.

106 - LILLY (J.C.)

Respiratory system methods gas analysis, in

"Medical Physics" (Glasser) Vol. 2. Y.B.P. Chicago.

107 - LUFT (K.F.)

L'analyse par absorption infra-rouge et son application au dosage de l'oxyde de carbone.

Rev. Techn. Luxembourg, 1956, 32, 78.

108 - LUFT (K.F.)

Über eine neue Methode der magnetischen Sauerstoffanalyse.

Z. für aug. Physik, 1951 3-8, 300.

109 - LUFT (K.F.)

Über eine Methode der registrierenden Gasanalyse mit Hilfe der Absorption ultraroter Strahlen ohne spektrale Zerlegung.

Zeitschrift für technische Physik 1943 24. 5. pp. 96 - 104.

110 - LUFT (K.F.) et MAILLET (R.)

Principes de construction et réalisation d'un nouveau spectromètre infra-rouge.

La Recherche aéronautique (ONERA) 38 43. 1954.

111 - MAGNIN (P.)

Mesure de la tension de l'anhydride carbonique dans le sang par la méthode de RILEY.

Entretiens de physiopathologie respiratoire (2e série), in Rev. Med. Nancy 1956 p. 15.

112 - MAGNIN (P.)

Mesure directe de la pression partielle de CO₂ et d'O₂ du sang par la microtonométrie. Limites et considérations techniques.
Thèse Méd. Nancy 1957.

113 - MAGNIN (P.), DRUTEL (P.), FRELIN (F.), MOLLARD (J.F.), TIMSIT (G.)
et BAUMANN (J.)

Communication Sté. Pathol. Comp., 10 Nov. 1964.

114 - MAGNIN (P.) et Coll.

Etude de l'élimination du CO₂ alvéolaire au cours d'une épreuve d'anoxie pulmonaire unilatérale pratiquée chez des sujets normaux.

Annales de Biologie Clinique. Numéros 5, 6, (1963) 21 - 5-6.
363-372.

115 - MARGARIA (R.)

La bronchspirometria nello studio della funzionalità pulmonare.
Minerva med., 1953, 44, 549.

116 - MARSH (K.)

A double lumen catheter for bronchspirometry.
J. Thor. Surg., 1953, 25, 495.

117 - MATTHES (K.), ULHER (W.)

Fortlaufende Registrierung des CO₂ Gehaltes der Expirationsluft mit dem Infrarotanalyser.
Jahrbuch 1954. Wissensch. Ges. f. Luftfahrt. S. 201.

118 - MERIGOT

Exploration fonctionnelle des poumons séparés par occlusion bronchique.
Thèse. Lyon 1944.

119 - NAHAS (G.G.)

Editor of : "Regulation of respiration".
Annals of the New-York Academy of Sciences. Vol. 109, Art. 2
pp. 411-948 (1963).

120 - NAHAS (G.G.), JOSSE (J.W.), MUCHOW (G.C.)

Influence of acute hypoxia on peripheral and central venous pressures in the non narcotized dog.

Am. Journ. Physiol., 1954, 177, 315.

121 - NAHAS (G.G.), VISSCHER (M.B.), MATHER (G.W.), HADDY (F.S.), WARNER (M.R.)

Journ. Appl. Phys., 1954, 6, 467.

122 - NELSON (N.)

The N.D.R.C. infra-red gas-analyser for the determination of rapidly changing CO concentration.
A.M.R.L. Prog. T. 18, 1945.

123 - NEUHAUS (G.)

Artzliche Anforderungen an die Genauigkeit von medizinischen Messgeraten.
Medizinal Markt. Acta Medicotechnica 1963 II. pp. 468-69.

124 - NORRIS (C.M.), LONG (J.), OPPENHEIMER (M.J.)

Bronchospirometry : apparatus and technique.
J. Thorac. Surgery 1948, 17, 357.

125 - NOYONS (A.K.M.)

Méthode d'enregistrement continu de la teneur en CO₂ et en O₂ des gaz respiratoires au moyen du diaféromètre thermique.
Ann. Physiol. 1937 13, 909.

126 - PETERS (R.M.)

Effect of unilateral carbone dioxide breathing of pulmonary blood flow.
Am. Journ. Physiol., 1957, 191, 399/403.

127 - PETERS (R.M.) et ROOSE (A.)

Effect of unilateral nitrogen breathing upon pulmonary blood flow.
Am. Journ. Physiol., 1952, 171. 250.

128 - PETIT (J.)

Recherches sur la chemosensibilité pulmonaire aux gaz respiratoires.
Thèse Méd. Nancy, 1960, Dact. 248 p.

129 - PFLÜGER (E.)

Arch. der gesamte. Physiologie. I - 61 - 106. 1868.

130 - PFUND (A.H.) et FASTIE (W.G.) -

Selective infra-red gas analysers.
J. Optic. Soc. Am. 1947, 37, 762.

131 - PIQUARD (M.)

Contribution à l'étude des mécanismes de compensation et d'adaptation respiratoire au cours des anoxies unilatérales chez l'homme normal.
Thèse de Médecine. Nancy 1965.

132 - PIVOTEAU (C.)

Mesure de la pression partielle de CO_2 dans le sang artériel
par la détermination du pH et du CO_2 total.
Entr. P.P. respiratoire, 2e série, in Rev. Med. Nancy p. 25.

133 - PLYLER (E.K.)

~~Infra-red~~ measurements past and present.
J. Franklin Inst. 1955, 259 - I. 17.

134 - RAHN (H.), BAHNSON (H.J.)

Effect of unilateral hypoxia on gas exchange and calculated
pulmonary blood flow in each lung.
J. Physiol. 1953, 6. 105.

135 - RAHN (H.) et BAHNSON (H.J.)

Simultaneous determination of blood flow-through each lung.
Proc., 1950, 9, 102.

136 - RAHN (H.), MONEY (J.), OTIS (A.B.), FENN (W.O.) -

A method for the continuous analysis of alveolar air.
J. Aviat. Med. 1946, 17, 173.

137 - RAHN (H.), OTIS (A.B.)

Continuous analysis of alveolar gas composition, during work,
hyperpnea and anoxia.
J. App. Physiol. 1949, I - 10, 717.

138 - REICHART (E.), PHAM (Q.T.)

La ventilation et les équivalents respiratoires chez l'homme
sain au repos.
C.R. Soc. Biol. Fr. (1964) 158, n° 4, 876-81.

139 - RILEY (R.L.), LILIENTHAL (J.L.), PROEMMEL (D.D.), FRANKE (R.E.)

On determination of physiologically effective pressure of CO_2
in alveolar air.
Am. J. Physiol. 1946, 147, 191.

140 - RILEY (R.L.), PROEMMEL (D.D.), FRANKE (R.E.)

Direct method for détermination physiologycally effective
pressure of O_2 and CO_2 in alveolar air.
Journal Biol. Chem. 1945, 161, 621.

141 - ROSSIER (P.H.), BÜHLMANN (A.)

The respiratory dead space.
Physiol. Rev. 35 : 860-876, 1955.

142 - SADOUL (P.), BONFANTE (N.)

Epreuve d'hypoxie unilatérale au cours de la bronchspirométrie.
Revue méd. Nancy 1954, 79, 711.

- 144 - SADOUL (P.), CARA (M.), BRAUN (P.)
La bronchospirométrie ou séparation des airs. Historique et Technique.
Le Poumon et le Coeur 1953, 9, 345-370.
- 145 - SADOUL (P.), GRILLAT (J.P.), BRAUN (P.)
La bronchospirométrie ou séparation des airs. Résultats. Indications.
Le Poumon et le Coeur. 1955. II., 939.
- 146 - SADOUL (P.) et RAHN (H.)
Relation ventilation-perfusion dans les différents lobes du chien anesthésié.
Rev. méd. Nancy, 1954, 79, 747.
- 147 - SCARINCI (C.), GALLETTTO (E.), GIANTURCO (E.)
Broncospirometria ed angiopneumografia.
Minerva med. 1952, 43, 132.
- 148 - SCHERRER (M.)
Über eine Methode zur Beurteilung der Lungendurchblutung bei der Bronchospirometrie.
Helvet. med. acta., 1954, 21, 598.
- 149 - SIEBERT (W.)
Nicht dispersive I.R. Spektroskopie.
Zeit. f. aug. Physik. 1954. 6-12. 653.
- 150 - SÖRHOLM (B.)
Investigation of the methodologi error in bronchospirometry.
J. Lab. and Clin. Med., 1955., 46, 298.
- 151 - STACY (R.W.), HUNTER (J.A.), MITHCOK (F.A.)
Mass spectrometer for rapid continuous analysis of respiratory gases.
Fed. Proc. 1948., 7, 120.
- 152 - STROUD (R.C.) and RAHN (H.)
Effect of O₂ and CO₂ tensions upon the resistance of pulmonary blood vessels.
Am. Journ. Physiol. 1953, 172, 211.
- 153 - SVANBERG (L.)
Recherches bronchospirométriques dans les diverses positions du corps.
Les bronches, 1955, 5., 520-521.

154 - SVANBERG (L.)

Clinical value of analysis of lung function in some intra-thoracic diseases ; a spirometric, bronchospirometric and angiopneumographic investigation.

Acta chir. scandinav. 1956, III, 169.

155 - SVANBERG (L.), ARBORELIUS (M. Jr) et CHATTERJEE (S.S.)

Assessment of operability of lung cancer. A bronchoscopic and spirometric-bronchospirometric study.

Acta chir. scandinav., 1959, 117, 8.

156 - SWENSON (E.W.) et BIRATH (G.)

Resistance to air flow in bronchospirometric catheters.

J. Thorac. Surg., 1957, 33, 275.

157 - SYMPOSIUM

Carbon dioxide and man.

Anesthesiology 21. 585-766. 1960.

158 - TIFFENEAU (R.), PINELLI (A.)

Air circulant et air captif dans l'exploration de la fonction ventilatrice pulmonaire.

Paris médical 1947. 37. 624-628.

159 - TULOU (P.)

La bronchospirométrie avec sonde souple. (Méthode d'exploration fonctionnelle des poumons séparés).

Presse Médicale 27-9-47. 55 - 56 635.

160 - TULOU (P.)

L'exploration de la fonction respiratoire. L'exploration fonctionnelle globale et l'exploration des poumons séparés.

Thèse Paris. 1943., I/228.

161 - VACCAREZZA (R.F.)

Valeur comparative de la bronchospirométrie et de l'angiopneumographie dans l'exploration fonctionnelle de chaque poumon.

IIIe Congrès International des Maladies du Thorax. 1954 - 693.

162 - VACCAREZZA (R.F.), SOUBRIE, (A.J.), LANARI (C.F.), MOLINS (M.E.) et BAROUSSE (A.P.)

Valeur comparée de la bronchospirométrie et de l'angiopneumographie dans l'exploration fonctionnelle du poumon.

Le Poumon et le Coeur 12, 13 (1956).

163 - VAN SLYKE (D.D.) et NEILL (J.M.)

Determination of gases in blood and other solutions by vacuum extraction and manometric measurement.

J. Biol. Chem. 1924. 61-523.

164 - VAN SLYKE (D.D.) et SENDROY (J.Jr)

Manometric analysis of gas mixture : I. Determination by simple absorption of CO₂, O₂ and N₂ mixtures of these gases.
J. Biol. Chem. 1932, 95, 509.

165 - VENGEROU (M.L.)

An optical acoustic method of gas analysis.
Nature. London 1945 158, 28.

166 - de VOOGD (Ab.)

Le CO₂ en chirurgie thoracique. (Intérêt de son dosage continu).
Thèse² Médecine. Lyon 1955, n° 167.

167 - WATSON (T.R.), TYSON (M.D.), HELLER (M.L.), CINCOTTI (J.J.), GAENSLER (E.A.)

Bronchspirometry. VIII. Differential function during thoracic surgery.
Am. Rev. Tuberc. 1957, 75, 730.

168 - WENZL (M.), STRAMBERGER (E.)

Arch. Klin. Chir. 278 - 388 (1954).

169 - WESTCOTT (R.N.), FOWLER (N.O.), SCOTT (R.C.), HAUENSTEIN (A.),
Mac GUIRE (J.)

Anoxia and human pulmonary vascular resistance.
J. Clin. Invest., 1951, 30, 957.

170 - WILLIAMS (W.Z.)

Infra-red instrumentation and techniques.
Rev. Sci. Inst. 1948, 19, 135.

171 - WRIGHT (G.W.) et MICHELSON (E.)

Bronchspirometry (in Methods in Medical Research, vol. 2.
Chicago 1950, Year Book Published. p. 82.

172 - WRIGHT (G.W.), WOODRUFF (W.)

Bronchspirometry. Ventilation and oxygen absorption of normal diseases lungs during N₂ respiration in the opposite lung.
J. Thoracic. Surg. 1942, II, 278-291.

173 - WYSS (O.A.M.)

Die nervöse Steuerung der Atmung.
Ergebn. Physiol. Biol. Chem. exper.
Pharmakol. Dtsch. (1964).

174 - YAMAMOTO (S.S.)

Transmission of information by arterial blood stream with particular reference to carbone dioxide.
Biophys. J. 2. 143-159, (1962).



EDITIONS A.G.E.M.P.

8 RUE DANTE

- PARIS V° -

ODÉ 58-90